309 77

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DEN EINFLUSS KURZFRISTIGER ÄNDERUNGEN VON TEMPERATUR UND LUFTFEUCHTE AUF DEN MENSCHLICHEN LUNGENGASSTOFFWECHSEL WÄHREND EINES VIERWÖCHIGEN KLIMAKAMMERVERSUCHS

Reinhard Rube

1979

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41535722_0005

AUS DEM INSTITUT FÜR MEDIZINISCHE BALNEOLOGIE UND
KLIMATOLOGIE DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN
Vorstand: Prof. Dr. med. H. Drexel

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DEN EINFLUSS KURZFRISTIGER ÄNDERUNGEN VON TEMPERATUR UND LUFTFEUCHTE AUF DEN MENSCHLICHEN LUNGENGASSTOFFWECHSEL WÄHREND EINES VIERWÖCHIGEN KLIMAKAMMERVERSUCHS

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig - Maximilians - Universität zu München

vorgelegt von
Reinhard Rube
aus
München
1979

MIT GENEHMIGUNG DER MEDIZINISCHEN FAKULTÄT

DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Berichterstatter: Dipl.-Phys. K. Dirnagl

Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. H. Drexel

Dekan: Prof. Dr. med. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 8.5.1979

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
1.	EINLEITUNG	1
2.	LITERATUR	
2.1.	Problemkreis	2
2.2.	Wetterphasen	7
2.3.	Einfluß von biosphärischen Wirkgrößen auf den Stoffwechsel	12
2.4.	Auswirkungen der Wetterkomponenten auf den O_2 Verbrauch bzw. die O_2 Aufnahme	16
2.5.	Auswirkungen der Wetterkomponenten auf die CO_2 Abgabe	24
2.6.	Der respiratorische Quotient (RQ)	26
2.7.	Zur O_2 und CO_2 Analyse stehen verschiedene Methoden zur Verfügung	29
3.	MATERIAL UND METHODIK	
3.1.	Bioklimakammer	31
3.2.	Das Versuchsklima	33
3.3.	Versuchsablauf und Versuchspersonen	37
3.4.	Versuchsbeschreibung	42
3.5.	Bearbeitung des Datenmaterials und Methodik der Auswertung	44
4.	VERSUCHSERGEBNISSE	
4.1.	Ergebnisse der O_2 Messungen	47
4.1.1.	Betrachtungen der durchschnittlichen O_2 Aufnahme jeder Person in jedem Turn, sowie Vergleich der Summen der O_2 Werte jedes Tages und jeder Person	47

Seite

4.1.2. Reaktionen der O_2 Aufnahme auf Klimareize bei VP1 49

4.1.3. Reaktionen der O_2 Aufnahme nach Klimareizen bei VP2 50

4.1.4. Reaktionen der O_2 Aufnahme auf Klimareize bei VP3 52

4.2. Ergebnisse der CO_2 Messungen 55

4.2.1. Betrachtung der durchschnittlichen CO_2 Abgabe jeder Versuchsperson in jedem Turn, sowie Vergleich der Summen der CO_2 Werte jeden Tages und jeder Person 55

4.2.2. Reaktionen der CO_2 Abgabe auf Klimareize bei VP1 56

4.2.3. Reaktionen der CO_2 Abgabe bei VP2 58

4.2.4. Reaktionen der CO_2 Abgabe bei VP3 60

4.3. Ergebnisse aus den Berechnungen des RQ 62

4.3.1. Aufschlüsselung nach Temperaturen 62

4.3.2. Aufschlüsselung nach der relativen Luftfeuchte 63

5. DISKUSSION

5.1. Der Sauerstoffverbrauch 66

5.2. Die Kohlendioxydabgabe 75

5.3. Der respiratorische Quotient 83

5.4. Kritik an der Methode 85

6. ZUSAMMENFASSUNG 88

7. KURVENMATERIAL 90

8. LITERATURVERZEICHNIS 114

1. Einleitung

Wer im Alpenvorland lebt, kann mehr noch als mit anderen Themen die Aufmerksamkeit des Zuhörers gewinnen, wenn er dem Thema "Wetter" eine neue Variante hinzufügen kann. Schier endlos sind die Schilderungen des "Mannes auf der Straße" über das für ihn komplexeste Wettergeschehen "Föhn". Es scheint den Köpenikaden des Kaiserreiches an Popularität nicht nachzustehen.

Dabei tangiert das Wetter den Menschen bei weitem nicht nur in Form des "Föhns", dem nach Norden gerichteten Fallwind über die Alpen, sondern in jeder denkbaren Kombination der Elemente, aus dem sich der Sammelbegriff Wetter zusammensetzt.

Seit der ersten systematischen Wetteruntersuchung der Neuzeit Ende des letzten Jahrhunderts sahen sich die Untersucher zunehmend in die Notwendigkeit versetzt, das komplexe Wettergeschehen zu zerlegen, nach steuerbaren Einzelfaktoren neu zusammengesetzt auf den Organismus einwirken zu lassen, um dann, je nach Fragestellung des Forschers, reproduzierbare Reaktionen und Teilergebnisse an dem untersuchten Organismus direkt zu messen.

Die vorliegende Arbeit soll einige Ergebnisse eines Klimakammerversuches, bei dem Temperatur und Luftfeuchtigkeit als Klimareiz gesteuert wurden, auswerten und zusammenfassen. Als Teilgebiet bearbeitete ich die Auswirkungen dieser Klimareize auf die Zusammensetzung der ausgeatmeten Luft. Gemessen wurden die O_2 und CO_2 Konzentrationen und das Atemminutenvolumen. Die Ergebnisse sollen mit den bisherigen Forschungsgebieten verglichen werden und sie ergänzen.

2. Literatur

2.1. Problemkreis

Aus dem Altertum sind uns die ersten Beobachtungen über den Einfluß von Wettervorgängen auf das Befinden von Gesunden und Kranken überliefert. Genauso alt sind die Versuche, diese Einflüsse zu ergründen und zu deuten. So ist bekannt, daß HIPPOKRATES (33) eine Abhandlung über den Einfluß der Luft, der Gewässer und der Ortslagen auf den Menschen geschrieben hat. DE RUDDER (71) zitiert in seiner "Meteorobiologie des Menschen" die "Lex Frisiorum" aus dem 9. Jahrhundert, wonach eine Wunde mit höherer Buße belegt wird, wenn eine wetterempfindliche Narbe zurückbleibt, und er zitiert PARACELSUS: "Der da weiß den Ursprung des Donners, der Wind, das Wetter, der weiß, von wannen Colia kompt und die Torsiones."

Jahrhundertealte Erfahrungen - in den Bauernregeln fanden sie wohl zuerst ihren Niederschlag - führten schließlich dazu, die sich anbahnenden technischen Möglichkeiten mit dem Forscherdrang des kommenden Zeitalters zu verbinden und neue Erkenntnisse über alte Beobachtungen zu erarbeiten. Einen interessanten Versuch machte z. B. MOSSO (53), in dem er 1899 seine Beobachtungen und das für ihn wichtige Wissen in "Der Mensch in den Hochalpen" zusammenfaßte. GEPPERT (26) weist in einem Lehraufsatz darauf hin, daß es allerdings erst zwei bis drei Jahrzehnte her ist, daß die "Biometeorologie" (später wird sie in "Medizinmeteorologie" und "Agrarmeteorologie" unterteilt), die "biometeorologische Forschung" also, aus dem Stadium der unbewiesenen Vermutungen und einander widersprechenden Behauptungen heraus ist und Wege zu einwandfreien Erkenntnissen eingeschlagen hat.

DE RUDDER (72), den man heute als den Schöpfer der modernen Meteoropathologie ansehen muß, beschreibt die Wege, die im

Laufe der medizinmeteorobiologischen Forschung eingeschlagen worden sind: "Einzelfaktoren des Wetters wie Luftdruck, Temperatur, Feuchtigkeit, Wind, Sonnenschein, UV-Strahlung, wurden zunächst mit Einzelreaktionen oder mit der Gesamtreaktion des Organismus in Verbindung gebracht." Nun lag auf der Hand, daß nicht das meteorologische Einzelelement, sondern die in bestimmten Wettervorgängen summarisch erhaltenen, aperiodischen Schwankungen vieler Wetterelemente, wie sie am deutlichsten in den Wetterfronten und Luftkörpern in Erscheinung treten, auf die biologische Wirksamkeit zu untersuchen waren. Man hat Einzelelemente, wie z. B. Temperatur und Feuchtigkeit usw., deshalb nicht für biologisch unwirksam erklärt, aber erkennen müssen, daß sie einzeln zur Erklärung von Phänomenen der Wetterfühligkeit und Wetterempfindlichkeit nach heutiger Erfahrung nicht ausreichen (6). Endziel ist und bleibt es nach diesen Überlegungen, Kenntnisse zu erlangen, wie sich jede einzelne Wetterkomponente auf jede Körperreaktion des Menschen auswirkt (26).

Parallel zu den Überlegungen, die vom Wetter und seinen Komponenten, bzw. Auswirkungen ausgingen, liegen solche, die von Beobachtungen am Menschen ausgehen (1, 6). HELLPACH (31) widmete sich in seinem Buch "Geopsyche", das zu den Standardwerken der Klimatologie gehört, dem Problem der Wetterfühligkeit. Lange klinische und physiologische Untersuchungen zeigten ihm, daß wetterreagierend jeder Mensch unabhängig von seiner gesundheitlichen Konstitution ist. Der Gesunde, bzw. Wetterunempfindliche reguliert die Reize so aus, daß sie sein Befinden nicht bewußt beeinträchtigen. Der wetterfühlige

Luftmassen riesiger Ausmaße, die beim Verfrachten ihre physikalisch-meteorologischen Eigenschaften, wie Temperatur und Feuchte annähernd beibehalten.

Mensch reagiert nun mit vegetativen Störungen, die als Konzentrationsschwäche, Schlafstörung, Kopfschmerz, Erregungs- und Verwirrtheitszustände allgemein bekannt sind. Von dieser "Wetterfühligkeit" ist grundsätzlich die "Wetterempfindlichkeit" abzugrenzen. Man versteht darunter den örtlichen Schmerz (Bruch- oder Narbenschmerz, rheumatisches Ziehen und Kausalgieschmerz), im Gegensatz zu den allgemeinen Beeinträchtigungen des Befindens. Ein weiterer Begriff muß in diesem Zusammenhang genannt werden. Es ist die Wetter v o r - fühligkeit, dem Wetterfühligen als besonderes Phänomen bekannt, die aber grundsätzlich keine Unterschiede zur direkten Fühligkeit zeigt. So können offensichtlich auch entfernte Wettervorgänge "biotrop" sein, und das nicht nur beim Menschen, wie man aus Tierversuchen weiß (15, 73). HELLPACH (30) hebt die Meinung hervor, daß das Reagieren von Mensch (und Tier) auf Wettervorgänge etwas völlig Normales ist, sozusagen "einfach ein Stück Naturgebundenheit des Menschenwesens bedeutet". Erst die übersteigerte Reaktion - wie bei der allergischen Reaktion[+] stellt sie eine Herabsetzung der Empfindlichkeitsschwelle dar - bildet den Übergang vom Psychologischen zum Krankhaften, dem grundsätzlich unsere Aufmerksamkeit gilt.

Eingehende Untersuchungen stellten sich zur Aufgabe, herauszufinden, welcher der Einzelkomponenten des Wetters man vermehrte Aufmerksamkeit schenken sollte, und welche Wetterelemente zunächst aus den weiteren Überlegungen herausgelassen werden können (19, 26). Ausgedehnte Studien beschäftigten sich mit dem Luftdruck, dem, mehr als Temperatur und Feuchtigkeit, ein bestimmender Einfluß in Form mechanischer Belastung auf den Körper zugesprochen wurde (53, 86). Es liegen uns heute Untersuchungen aus der Luftfahrtmedizin und der Ar-

[+] Allergie bedeutet vom Worte her veränderte Reaktionslage

beitsphysiologie vor, die sich mit den Auswirkungen des niedrigen Luftdrucks bei Bergfahrten oder beim Arbeiten unter Wasser in Überdruckcaissons, auf den Organismus beschäftigen (49, 84). Es wurden vor allem Kreislaufuntersuchungen gemacht, denn Gegenregulationen des Organismus, die zu Belastungssymptomen führen, wie z. B. Herzklopfen, Blutdruckanstieg oder -abfall, waren ja Ausgangspunkte der Überlegungen. Gegenregulationen waren aber erst ab vergleichbaren Nennhöhen von 3000 m zu registrieren, und das zum Teil nur in sehr geringem Ausmaß (52). Da wetterbedingte Luftdruckschwankungen höchstens einem Höhenunterschied von 500 m entsprechen können, liegt die Überlegung nahe, daß das schnelle Liftfahren in einem großen Hochhaus oder auf einen Fernsehturm eine größere Luftdruckbelastung darstellt, als ein normaler Wetterwechsel. SCHARF (73) hat den Gedanken der Abhängigkeit des O_2 Verbrauchs vom Luftdruck 1965 nochmals aufgegriffen und an Ratten nachweisen können, daß keine Abhängigkeit besteht. (Ausnahme s. S. 22.) Eine Arbeit von DIRNAGL (19) weist denn auch schon 1955 den weiteren Weg der Untersuchung, indem er die Wetterelemente Temperatur und Feuchtigkeit in den Vordergrund weiterer Überlegungen stellt. Auch hier lag bereits umfangreiches, sich aber streckenweise stark widersprechendes Untersuchungsmaterial vor, wie wir später sehen werden. 1974 brachte RICHNER ältere Überlegungen, wonach kurzfristige, rasche atmosphärische Druckschwankungen ein wesentliches Wetterelement ist, das den Menschen beeinflußt, erneut ins Gespräch (66). Auch REINDERS (63) schreibt dem Luftdruck immer noch besondere biotrope Bedeutung zu. Insbesondere zitiert er polnische Arbeiten, die dies bestätigen. Nicht vergessen seien hier auch die Untersuchungen STRASSBURGERS (78) an Meerschweinchen, der bei Eintritt einer Föhnwetterlage eine Wasserretention, und nach Abschluß dieser Wetterlage eine erhebliche Diurese feststellen konnte. Dies fand STRÖDER (6) unter bestimmten Umständen auch beim Menschen bestätigt.

An das Ende dieser Vorüberlegungen, welche der Wetterkomponenten "biotrop" sein könnte, möchte ich ein oft zitiertes Wort DE RUDDERS stellen, das man sich bei meteorologischen Untersuchungen und Schlüssen daraus stets vergegenwärtigen sollte, auch wenn es unseren Kausalitätsbedürfnissen manchmal unzumutbare Geduld abverlangt: "In der Bioklimatik gilt der Satz, daß selbst eine ausgesprochene Korrelation zwischen zwei Formen des Geschehens noch lange keine kausale Verknüpfung bedeutet."

2.2. Wetterphasen

Zu Beginn der Literaturübersicht möchte ich einen kurzen Überblick über die in der Medizinmeteorologie üblichen Grundbegriffe und Einteilungen geben. Sie sollen dem Grundverständnis für die unserem Klimakammerversuch (bzw. der klimatologischen Forschung) zugrunde liegenden Problemkreise und Erkenntnisse dienen. Die im weiteren aufgeführten Grundlagen sind den Veröffentlichungen von UNGEHEUER (85), BREZOWSKY (10, 11) und KÜGLER (43) entnommen. Darüberhinaus liegt eine Arbeit MENGERs (51) vor, die eine Gegenüberstellung der in den verschiedenen Arbeitskreisen verwendeten meteorologischen Einteilungen des Wettergeschehens vornimmt.

Als biosphärische Begriffe, die sich in der Medizinmeteorologie durchgesetzt haben (51), sind zu nennen:

A. Wettervorgänge und Fronten
   I. Zyklonale (tiefdruckbeeinflußte) Wettervorgänge
      1) Aufgleitvorgänge (stabiles, labiles, subtropisches Aufgleiten, Aufgleit-Warm- und Kaltfronten)
      2) Labilitätsvorgänge (Grundschicht-Labilität, hochreichende Labilität, Kaltfront mit Labilität)
   II. Antizyklonale (hochdruckbeeinflußte) Wettervorgänge
      1) Absinken
      2) Abgleiten (freier Föhn) - Absink-Warmfront

B. Wetterlagen und Wettertypen
   I. Meridionale Lagen
      1) Tropischer Typ
      2) Polarer Typ
   II. Zonale Lagen
      1) Westlagen (langsamer, schneller Typ, polare Tropopause)

2) Ostlagen

III. Antizyklonale Lagen

1) steuernde und blockierende Antizyklone

2) Zwischenhoch

Der grundsätzliche Unterschied der aufgeführten Begriffe liegt darin, daß in A Wettervorgänge zusammengefaßt sind, die von der vertikalen Luftbewegung (auf- oder abgleitend) ausgehen und damit eher von regionalen Beeinflussungen, z. B. von großen Seen, Waldgebieten oder Städten oder der Lage zu Gebirgen (Alpen) bestimmt werden. Ihnen gegenüber stehen die Wetterlagen und Typen, die den großen Wetterströmungen, und den das Gesamtwetter beeinflussenden Luftverschiebungen Rechnung tragen. In diese Gruppe gehören auch die unter III angeführten antizyklonalen (hochdruckbedingte) Lagen, die als grundsätzliche Absink- und Abgleitvorgänge schon unter A Erwähnung fanden. Eine genauere Untergliederung der aufgeführten Begriffe ist bei AMELUNG (1) zu finden. Ein grundsätzliches Wort möchte ich aber den zyklonalen und antizyklonalen Systemen anfügen. Der für die Medizinmeteorologie maßgebliche Unterschied zwischen beiden liegt darin, daß im zyklonalen System Hebung-, Aufgleit- und (Labilitäts-) Turbulenzvorgänge der Luft vorherrschen, während im Antizyklonalsystem die Luftströmungen abwärtsgerichtet sind, also absinken oder abgleiten. Von Bedeutung sind die durch zyklonale Fronten bedingten "Unstetigkeitsflächen". In ihnen spielen sich energiefreimachende, thermodynamische Prozesse ab, die sich als sehr starke Wetterschwankungen mit Wolkenbildung und Niederschlägen bemerkbar machen können. Bei antizyklonalem Wetter findet man im Gegensatz dazu Wetterformen, die zu Bewölkungsauflösung und Strahlungswetter führen. Eine dieser Wetterformen ist der Föhn (23). Es soll kurz erklärt werden, da die thermodynamische Föhntheorie gewissermaßen die moderne Meteorologie eingeleitet hat. Wenn eine Luftmasse aufsteigt, kommt

sie unter niedrigen Luftdruck und dehnt sich aus. Mit dieser Ausdehnung ist eine Arbeitsleistung verbunden, die aus der inneren Energie der Luftmassen selbst bestritten werden muß, wenn ihr keine Wärme von außen zugeführt wird. Rasch aufsteigende Luftmassen kühlen deshalb, z. B. beim Weg über die Alpen ab, da sie die Ausdehnungsarbeit durch Verminderung ihres eigenen Wärmegehaltes bestreiten müssen. Für absteigende Luft ergibt eine analoge Betrachtung - Kompression der Luft, und damit Vermehrung der inneren Energie - eine Erwärmung der Luft. Beim Strömen der Luftmassen über die Alpen führt die Abkühlung zum teilweisen Ausregnen der Luftfeuchtigkeit an der Alpensüdseite und zur verstärkten Wiedererwärmung der Luft im nördlichen Alpenvorland. Der Föhn bringt also wärmere und trockenere Luft.

Die Grundlage der bekanntesten und gebräuchlichsten Wettereinteilung stammt von UNGEHEUER (85). Er gab ursprünglich 6 Wetterphasen an, wie sie sich im Alpenvorland mit besonderer Prägnanz ausbilden. Sie führen von der typischen Form des ungestörten Hochdruckwetters (phase 1) über das gesteigerte und übersteigerte Schönwetter (phase 2 + 3), dem Wetterumschlag (zyklonale Phase), der meist in Form atlantischer Warm- und Kaltfronten oder Okklusion (phase 4 + 5) erfolgt, bis zur Wetterberuhigung in Phase 6.

BREZOWSKY (10) hielt sich an das Schema von UNGEHEUER und brachte Ergänzungen an. Er gliederte Phase 3 in ein durch Absinken und durch den bei uns im Alpenvorland häufig anzutreffenden Föhn, verursachtes übersteigertes Schönwetter. Zwischen Wetterphase 5 + 6 setzt er die Phase 6z, in der durch aktive Kaltluft eine verzögerte Wetterberuhigung mit starker biotroper Wirkung entsteht. Einige Jahre später wird die Phase 8 ergänzt, die mittleres Schönwetter mit Nebel und Hochnebel in das Schema einführt. Im einzelnen ergibt sich folgen-

der Überblick über Wetterphasen und das Temperatur-Feuchte-Milieu, erarbeitet vom München-Tölzer-Arbeitskreis nach UNGEHEUER und BREZOWSKY (Fig. 1).

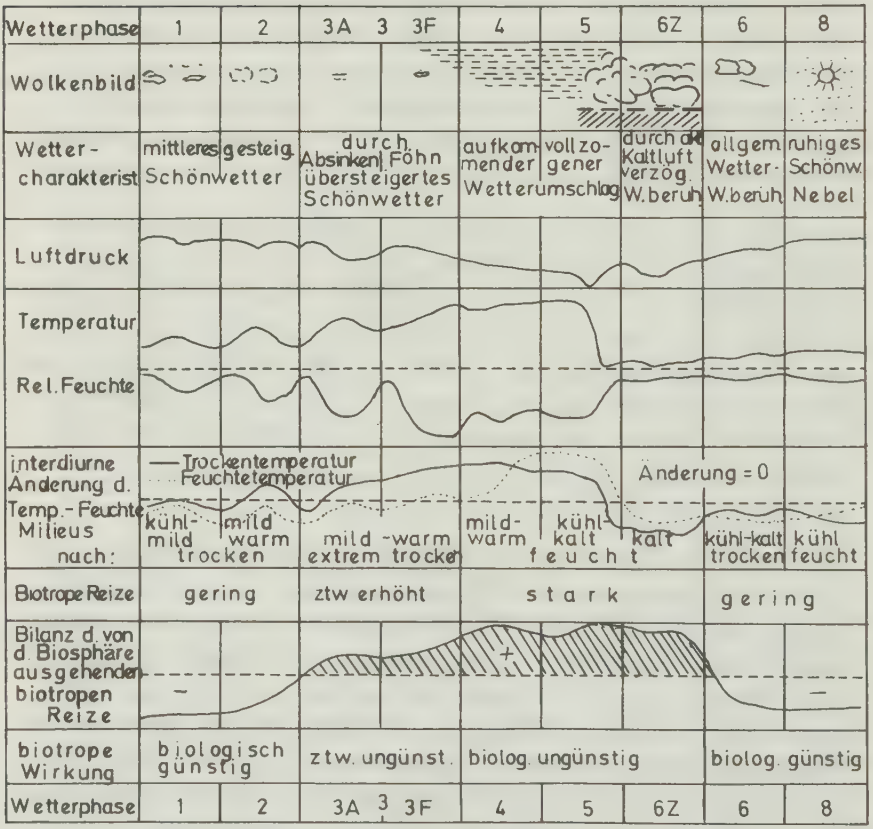

Fig. 1 Die Wetterphasen nach UNGEHEUER (85) (mod.)

Für unsere Versuche in der Klimakammer sind demgegenüber Wetterphasen von untergeordneter Bedeutung. Im Vordergrund des Interesses stehen Schwankungen, die Einzelkomponenten des Wetters (z. B. Temperatur, Luftfeuchte und Helligkeit) betreffen, die in der Klimakammer getrennt eingestellt werden können. In Kapitel 3.2. wird davon die Rede sein.

2.3. Einflüsse von biosphärischen Wirkgrößen auf den Stoffwechsel

Auf der Suche nach Grundlagen und Forschungsergebnissen, die Hinweise auf Zusammenhänge zwischen Wetterkomponenten und deren Auswirkungen auf den Lungengasstoffwechsel enthalten, stieß ich immer wieder auf Untersuchungen, die Einzelphänomene beschrieben, die aber ihrerseits Rückschlüsse auf Beschleunigung oder Verlangsamung des Stoffwechsels zuließen. Ich habe mich deshalb entschlossen, diese Ergebnisse zusammengefaßt an den Anfang zu stellen.

In gewissem Widerspruch zum eingangs erwähnten Prinzip, wonach nie eine Einzelkomponente des Wetters alleine auf den Organismus einwirkt, steht der Einfall von sogenannten "Kaltfronten", der einen Temperaturabfall im Bereich des Luftkörperwechsels bedeutet. Aus ärztlichen Beobachtungen weiß man, daß das Einatmen kalter Luft oder das Abkühlen der Hände die Bereitschaft zum Auftreten pektanginöser Beschwerden fördert. Wie aus Thermogrammen von Rauchern bekannt ist (37), führt auch Nikotin zu dieser Kapillarzusammenziehung, weshalb seinem kreislaufanregenden Effekt (44) (d. h. Energiemehrverbrauch) gleichzeitig ein Energiespareffekt überlagert ist. Akute Kälte wirkt über die Durchblutungsverminderung energiesparend. Das Ausmaß dieses vasokonstriktorischen Effekts hängt weitgehend von der vegetativen Lage des Menschen ab. Durch konsequentes Kreislauftraining, auch durch Sauna, Wechselbäder und autogenes Training, kann man den Körper daran gewöhnen, den konstriktorischen Reflex einzuschränken, wodurch eine Umsatzsteigerung des Organismus durch Kälte resultiert, der durch einen Wärmeverlust hervorgerufen ist. Diese Fragen spielten für die Versuchskonzipierung eine nicht unbedeutende Rolle (Kap. 3.2. und 3.3.).

Von erheblichem Wert waren spätere Versuche, die das gleichsinnige Reagieren auf Kalt- und Warmfronten nachweisen konnten, wobei das jeweilige Überwiegen des Sympathicus oder Parasympathicus die entscheidende "Wettermehrbelastung" bewirkte (79). BECKER und Mitarbeiter (5) machten sich 1949 daran, mit verschiedenen Methoden die Reaktion des vegetativen Nervensystems auf Wetterreize zu überprüfen. Kinder im Alter von 3 1/2 bis 16 1/2 wurden geringe Mengen von Adrenalin, bzw. Pilocarpin subcutan gespritzt und die Reaktion des Blutdrucks und der Pulszahl gemessen. Das Ergebnis des Adrenalinversuchs brachte die Überraschung, daß Warmfronten und Kaltfronten bei diesem Versuch fast identische Erhöhung um 10 - 14 % gegenüber der Reaktion bei Wetterunruhe brachte. Der vagusreizende Pilocarpinversuch brachte allerdings nur bei Warmfront einen um 10 % stärkeren Blutdruckabfall. Der höhere kindliche Vagotonus wurde für die verstärkte Reaktion verantwortlich gemacht. Aus Testversuchen von STRAUBE und SCHOLZ (76) geht hervor, daß der Organismus auf Wetterreize mit seinem vegetativen Nervensystem in recht konstanter Weise zunächst mit einer Steigerung des Vagotonus reagiert, dem Stunden später eine Steigerung des Sympaticotonus folgt. DE RUDDER (71) fand nachträglich durch diese Untersuchungen mit seinem Satz, daß "Wetterstörungen am vegetativen Nervensystem angreifen", Bestätigung.

KUSCHINSKY (44) stellt direkt die Verbindung zwischen vegetativer Stimmungslage und Grundumsatz (Nüchtern-Ruhe-Umsatz): "Adrenalin steigert durch direkte Wirkung auf die Zellen den Sauerstoffverbrauch aller Organe; der Grundumsatz wird erhöht." Klimareize, die vagale oder sympatische Nervenreaktionen zur Folge haben, senken oder steigern also direkt O_2 Verbrauch (analog CO_2 Abgabe). Die Wirkung von Noradrenalin auf den O_2, bzw. CO_2 Umsatz ist gering.

Eng mit obigen Bemerkungen und Untersuchungen hingen Bemühungen u.a. von KRETSCHMER (42) und BORGARD (9) zusammen, die neben der vegetativen Stimmungslage auch der Körperform eine determinierende Rolle bei der Reaktion auf Reize (speziell Wetterreize) unterstellen und nachweisen konnten. HERTZ (32) untersuchte die vegetative Reaktion (Puls, Blutdruck) der bekannten drei Konstitutionstypen auf intravenöse Gabe von Adrenalin, Atropin und Pilocarpin: "Die Pykniker hatten das Maximum der Wirkung in der dritten Minute, in der neunten Minute war die Wirkung wieder abgeklungen. Bei den Athletikern setzte sie langsamer ein; hier lag das Maximum in der neunten Minute, und erst in der zwölften bis fünfzehnten Minute waren die Werte wieder normal. Die Astheniker (bzw. Leptosomen) reagierten insofern noch stärker, als sie das Maximum schon in der dritten Minute erreichten und bis zur neunten Minute beibehielten. Dann klang die Wirkung ab, die Patienten erreichten in der fünfzehnten Minute wieder ihre normalen Werte."

Befunde von LOSSE und M. KRETSCHMER (48) bestätigten die auch theoretisch entwickelten Anschauungen (42) von der mehr sympaticonen (später ergotrop genannten) Vegetationslage der Pykniker und der vagotonen (später trophotropen) der Leptosomen, (Pykniker Grundumsatz + 1 %, Leptosomen - 5,7 %). BORGARD (9) fand Werte, ohne bei seinen Untersuchungen auf Geschlecht, Alter und Körperoberfläche näher einzugehen von + 7,2 % Grundumsatzsteigerung für den Pykniker gegenüber dem Durchschnitt, + 3,5 % für den muskulösen Habitus, - 6 % für Astheniker; TROMP (83) beschreibt quantitative Unterschiede des O_2 Verbrauchs, bezogen auf einzelne Körpermaße wie Schulterbreite, Hüftbreite, Länge von Armen und Beinen, die im weiteren jedoch unberücksichtigt bleiben.

Zum Abschluß dieses Kapitels seien noch Ansichten von HOFF (35, 36) und CURRY (16) erwähnt, die von einer vegetativen

Gesamtumschaltung unter dem Einfluß von äußeren physikalischen Reizen sprechen, und dabei besonders bei Warmreizen im Überwärmungsbad und Schwitzbad eine zweiphasige Reaktion fanden, wobei primär eine sympathicotone und sekundär eine parasympathicotone gemeint ist. Daneben fand HOFF eine vagotone Vorphase, die allerdings nach seiner Auffassung "nur bei schweren, schockartigen Reizen zustandekommt".

CURRY hat darüberhinaus Einflüsse von Warmfronten und Kaltfronten, die mit einem unterschiedlichen Ozon bzw. "Aran" [+] -Gehalt der Luft einhergehen, einander gegenübergestellt. Hiernach soll die Warmluft eine Verstärkung des Vagotonus bewirken. Von HOFF (35) und CURRY (16) wurden auch Tabellen angegeben, die eine direkte "Reaktionsvorherplanung" bei sympatischen Reaktionen zulassen.

[+] Aran = Ozon und höhere Polymerisationsstufen des Sauerstoffs

2.4. Auswirkungen der Wetterkomponenten auf den O_2 Verbrauch bzw. die O_2 Aufnahme

Literaturangaben über die Untersuchungen des respiratorischen Gasstoffwechsels stammen häufig aus balneologischen Versuchen (1, 56, 66) oder aus Arbeiten über die Auswirkungen des Aufenthalts in großen Höhen (47, 53). Zudem datieren sie vorwiegend aus der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts (15, 28, 70). So nimmt es kaum Wunder, wenn an bleibenden Ergebnissen in einer der ersten klassischen Arbeiten von MOSSO 1899 und ZUNTZ 1906 mehr summarisch von der "erregenden Wirkung des Höhenklimas auf den Atemvorgang" (53) die Rede ist. Doch schon WARD (86) fand tiefere Werte für den alveolären Kohlensäuredruck, und entsprechend höhere Werte für den Sauerstoffdruck beim Aufenthalt in großen Höhen (Zermatt und Monte Rosa). Die Veränderung hielt noch einige Tage nach Rückkehr in die Ebene an. Ein weiterer Weg, über den respiratorischen Gasstoffwechsel und seinen Steuermechanismen Aufschluß zu erhalten, führte zu Versuchen, bei denen erhöhte O_2 Konzentrationen geatmet wurden (54). Verschiedene Autoren bemühten sich einen jahreszeitlichen Zusammenhang zwischen Temperatur und Sauerstoffverbrauch (z. T. gemessen in Form der Wärmeabgabe (38)) herzustellen (15). Man ging von der Annahme aus, daß der O_2 Verbrauch im Winter höher liegt als im Sommer.

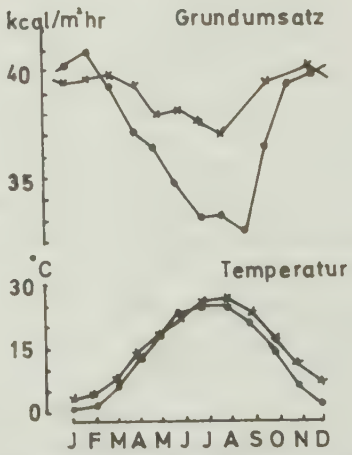

Fig.2 Grundumsatz und Umgebungstemperatur der gleichen VP in Kumamoto/Japan 1950 (•) und in Lexington/USA 1964 (x) nach SASAKI (37)

Zunächst schien sich allerdings diese Hypothese, vor allem in Tierversuchen (15, 21) durch eine Vielzahl widersprüchlicher Ergebnisse nicht bestätigen zu lassen. Erst GESSLER, der 1924 seinen eigenen Grundumsatz ein Jahr lang maß, fand ein deutliches Maximum im Winter und ein Minimum im Sommer. Die Abhängigkeit bzw. Korrelation der Durchschnittstemperatur mit der Wärmeproduktion war auffallend (S. a. Fig. 2).

PEMBERTON (58) veröffentlichte 1933 eine Hypothese, nach der während des Ablaufs der Jahreszeiten der Stoffwechsel wichtige Veränderungen durchmacht. Er zitiert Arbeiten von MURLIN, die zwischen März und Oktober ein Absinken der mittleren Wärmeproduktion von 400 Kalorien in 24 Stunden zeigen konnten.

HERMANN (1954) bemerkte einen konstanten Stoffwechsel im Sommer und im Winter (15). LEBLANC (45) maß bei Soldaten, die arktischem Klima ausgesetzt waren, die Wärmeproduktion, die am Ende des Winters geringer erhöht war als am Anfang.

CUENOT (15) startet als erster einen Großversuch von November 1953 bis Dezember 1954 mit über 100 Personen. Mit ihm sollte der viel zu kleinen Zahl von Messungen anderer Forscher begegnet werden. Das uneinheitliche Ergebnis der veröffentlichten Kurven trug dann allerdings wenig zur Klärung der offenen Fragen des Gasstoffwechsels bei. Die große Anzahl der Messungen konnte die Zahl der variablen Faktoren nicht zufriedenstellend kompensieren. In einer späteren Veröffentlichung hat CUENOT der Kritik an seiner Arbeit durch neue Versuchsbedingungen Rechnung getragen. Er adaptierte die Personen während der Messungen an ihre normale Umgebungstemperatur, machte Messungen um 9.00, 11.00 und 17.00 Uhr außerhalb der Verdauungsperiode nach einer Ruhepause von einer halben Stunde.

Die Ergebnisse seiner Untersuchungen, die CUENOT an Küstenbewohnern gemacht hat, faßt er in 5 Punkten zusammen.

1.) Einzelheiten aus dem Verlauf der Jahreszeitenkurve variieren von Jahr zu Jahr, wie auch die Außentemperatur, aber generell gibt es eine Stoffwechselerniedrigung während der heißen Monate und eine Erhöhung im Herbst und Winter.

2.) Die Stoffwechselerhöhung, die im Frühjahr zu beobachten ist, ist offenbar temperaturunabhängig, kann nicht direkt erklärt werden und ist im Laboratorium nicht reproduzierbar.

3.) Schwankungen im Sauerstoffverbrauch treten bei allen Versuchspersonen auf und scheinen von Milieu und Ernährungsfragen unabhängig zu sein.
Es treten in den 3 Jahren des Versuchs immer wieder paradoxe Erhöhungen und Erniedrigungen des Grundumsatzes auf, die nicht erklärt werden können, die aber zeitlich verschoben in jedem Jahr wieder zu finden sind.

4.) Die ersten wichtigen thermischen Anstiege im Frühjahr, und Erniedrigungen im Herbst, verursachen meist plateauartige (metabolische) Abfälle und Anstiege des Stoffwechsels. Diese Plateauänderungen wiederholen sich während des Jahres bei ähnlichen Temperaturschwankungen nicht und können als genereller Anpassungsvorgang des Organismus aufgefaßt werden.

5.) Klimatische Schwankungen scheinen bei Personen mit hohem Metabolismus größere Änderungen zu ergeben als bei Personen mit niedrigem Grundumsatz (s. a. KRETSCHMER).

COTTLE und CARLSON (14) gingen in ihren Versuchen einem Phänomen nach, dem auch die beiden vorgenannten Autoren begegnet sind. Vor allem bei der Exposition in kalter Umgebung kommt es zu einer Anpassung des Organismus nach einiger Zeit. Der Versuch wurde mit Ratten bei 5^{o} C Außentemperatur durchgeführt (Vergleichstiere bei 25^{o} C). Es gab zuerst einen stei-

len, dann einen leichten Anstieg der Wärmeproduktion während der ersten 20 Tage. Ihnen folgte ein etwa 20tägiges Plateau, bevor die Werte wieder zu sinken begannen, und um den 60. Tag unter denen des 5. Tages lagen.

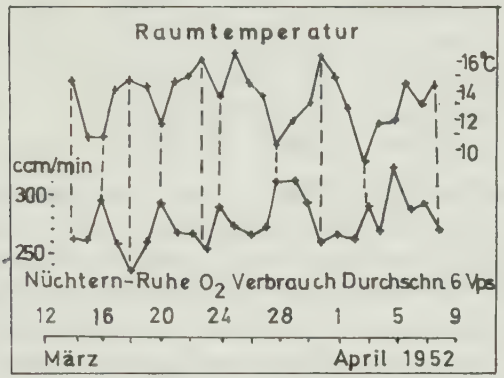

Fig. 3 Beziehung des Gasstoffwechsels zur Raumtemperatur nach Dirnagl (19)

DIRNAGL machte 1952 Grundumsatzmessungen an 6 Personen kurz nach dem Aufstehen in nüchternem Zustand. "Trotz der zu erwartenden Ausgleichswirkung des 'Bettklimas' ist eine gegenläufige Korrelation zur Raumtemperatur unverkennbar." (Fig. 3.)

HEINECKER (30), der in einem Großversuch Kreislauf- und Gasstoffwechselreaktionen verfolgte, gibt über seine Grundversuche folgende Befunde an:

"Die Atemfrequenz (AFr) läßt keine deutlichen Beziehungen zur vegetativen Grundstruktur erkennen."

Das Atemminutenvolumen (AMV) weist im Mittel in der trophotropen Gruppe zwar die niedrigsten, in der ergotropen die höchsten Werte auf, jedoch sind die Unterschiede recht gering. Das AMV und seine beiden Komponenten AFr und Atemzugvolumen gehorchen somit unter normalen Bedingungen wahrscheinlich anderen Steuerungsmechanismen als denen, die wir vom Kreislauf her kennen. Der Sauerstoffverbrauch hingegen zeigt deutlichere Unterschiede: die Mittelwerte betragen 277 cm^3/min für die trophotrope und 306 cm^3/min für die ergotrope Gruppe (siehe auch BORGARD, KRETSCHMER).

Die Auswirkungen des "Cold Pressor Test" auf die Atemgrößen bringt nur bezüglich des Sauerstoffverbrauchs neue Erkenntnisse. "Der Sauerstoffverbrauch steigt bei der Mehrzahl der Versuchspersonen an. Nur in der ergotropen Gruppe (Anm.: diese weist höhere Anfangswerte auf) ist ein Abfall relativ häufig (ca. 20 %). Der durchschnittliche Anstieg beträgt in der trophotropen Gruppe 38,5, in der ergotropen Gruppe 12,5 cm^3/min." Daraus ergibt sich, daß unter "Cold Pressor Test"-Bedingungen nur noch unwesentliche O_2 Verbrauchsunterschiede von 315,5 zu 318,5 cm^3/min zu der ergotropen Gruppe bestehen.

Aus jüngster Zeit liegen einige Untersuchungen vor, die den Sauerstoffverbrauch gleichzeitig unter dem Gesichtspunkt einer dabei geleisteten Arbeit und einer Temperatur- bzw. Luftfeuchteänderung, also einem Wetter- bzw. Klimareiz sehen. KLAUSEN (41) untersuchte Sauerstoffverbrauch und Atmung bei submaximaler und maximaler Arbeit. Die Versuche wurden bei angenehmer Arbeitstemperatur und bei trockener Hitze durchgeführt. Bei submaximaler Arbeit gab es keine signifikanten Änderungen der O_2 Aufnahme in trockener Hitze; lediglich im Trend scheinen die Werte in Hitze niedriger zu liegen als in angenehmer Umgebung. Bei maximaler Arbeit war der O_2 Verbrauch in heißer Umgebung signifikant niedriger.

KITZING (40) untersuchte Energieumsatz und Kerntemperatur (KT) bei kleiner Leistung in warmer und kalter Umgebung. Die Ergebnisse zeigten, daß bei leichter Arbeit am Fahrradergometer (5 mkp/sek) in 11 und 25° Umgebungstemperatur die KT der Probanden klimaabhängig ist. In kälterer Umgebung sinkt die KT im Verlauf 1 Stunde, in warmer steigt sie an. Der O_2 Verbrauch der Probanden war in der kalten Umgebung vor, während und nach der Arbeit höher als in warmer Umgebung. Die Differenz der O_2 Verbrauchswerte ist nur im Initialstadium und gelegentlich nach der Arbeit größer als in Ruhe. Der O_2 Verbrauch ist in solchen Fällen zur Außentemperatur, nicht zur Kerntemperatur korreliert. SHVARTZ (76) untersuchte Reaktionen und Hitzetoleranzen in heißtrockener und heißfeuchter Umgebung. Er fand keine signifikanten Grundumsatzsteigerungen bzw. keine Senkungen in trockener oder feuchter Hitze. WEINMANN (87), der Testpersonen beiderlei Geschlechts wiederholt feuchter Hitze (33,9°, 32,2° C und 88 % rel. Luftfeuchte) auf dem Laufband (treadmill) aussetzte, untersuchte unter anderem die Auswirkungen auf Rektaltemperatur und Grundumsatz, um vor allem der Frage nachzugehen, welche Änderungen auf die feuchte Hitze und welche auf die Arbeit zurückgehen. Der Anstieg der Rektaltemperatur war bei Männern kleiner, und ging auch schneller wieder zurück als bei den weiblichen Testpersonen. Keine Änderungen oder Unterschiede wurden in einer Reihe von Kreislauf- bzw. Grundumsatzgrößen wie Hauttemp. und gesamte Wärmeproduktion gefunden.

Die Beziehung zwischen maximaler O_2 Aufnahme und Körpertemperatur untersuchte WYNDHAM (88) unter feuchten und heißen Klimaverhältnissen. Die Versuchsbedingungen entsprechen etwa denen von WEINMANN. Nach einer zwölftägigen Akklimatisierung wurde Rektaltemperatur und maximale O_2 Aufnahme untersucht und eine enge Verbindung beider Werte gefunden. Die Unterschiede zwischen den Versuchspersonen mit der unterschiedli-

chen O_2 Aufnahme unter Grundbedingungen in Zusammenhang gebracht. Die enge Beziehung zwischen maximaler O_2 Aufnahme und Rektaltemperatur waren bei den unterschiedlichen Versuchspersonen vor und nach Akklimatisierung in gleicher Weise nachweisbar. Untersuchungen außerhalb der Indifferenztemperatur (REIN - SCHNEIDER (64) von 20^o, die für den Menschen den Bereich des geringsten Stoffwechsels darstellt, beschreibt TROMP (83). Er gibt an, daß eine Person bei 26^o C 24 l O_2/h verbraucht (400 ml/min.), bei 12^o C 27 l O_2/h (450 ml/min.), was einer 12 %igen Steigerung in Kälte entspricht. Zur gleichen Aussage kommen die schon 1942 gemachten Untersuchungen THAUERs (80). Er wollte zur Klärung der sog. ersten und zweiten chemischen Wärmeregulation des Menschen beitragen, sowie den Einfluß von Luftfeuchtigkeiten (50, 70, 90 % rel. Feuchte) auf den Lungengasstoffwechsel untersuchen. Zu den Ergebnissen schreibt THAUER u.a.: "Bei Erhöhung der rel. Feuchtigkeit auf 70 und 90 % bei gleichbleibender Temperatur wird der Sauerstoffverbrauch auf ein höheres Niveau eingestellt, und zwar macht bei jeder Temperatur der Schritt von 70 auf 90 % mehr aus, als der von 50 auf 70 %."

Zum Abschluß sei nochmals SCHARF (73) zitiert, der im Tierversuch den Lungengasstoffwechsel mit seiner Beeinflußbarkeit durch Temperatur, Luftdruck und Luftfeuchtigkeit untersuchte. "Normaltiere erhöhen im Temperaturintervall zwischen 20 und 30^o C den Gasstoffwechsel geringfügig, aber statistisch signifikant. Offenbar verlangt die Erhaltung der Homoiothermie gegenüber steigenden Umwelttemperaturen vermehrte Energie, die durch eine leichte Stoffwechselsteigerung freigesetzt werden." Unter Einfluß verschiedener Pharmaka treten entweder verstärkende oder gegenläufige Tendenzen auf. Luftfeuchte und Luftdruck nehmen ebenfalls nur unter bestimmten pharmakologischen Bedingungen Einfluß auf den Lungengasstoffwechsel. So haben Dijodtyrosin behandelte Ratten bei höherem Luftdruck

einen geringfügig größeren O_2 Verbrauch - 1 mm Hg Luftdruckzunahme ergibt eine Steigerung des O_2 Verbrauchs um 0,012 l O_2/h. - In einer anderen Veröffentlichung weist SCHARF (74) eine kurzzeitige Komponente des Gasstoffwechselregelung in Abhängigkeit von der Umwelttemperatur nach. Die Kenntnisse über die Beeinflussung des O_2 Verbrauchs durch Klimafaktoren sind reichhaltig. Dennoch haben nur wenige Autoren Rückschlüsse auf die zugrunde liegenden Steuermechanismen gezogen (32, 36, 79, 81).

2.5. Auswirkungen der Wetterkomponenten auf die CO_2 Abgabe

In verschiedenen Arbeiten ist neben dem O_2 Verbrauch auch die CO_2 Produktion mitgemessen worden, allerdings ohne im einzelnen darauf einzugehen bzw. eine Bewertung abzugeben. Hierfür ist sicherlich die Überlegung maßgeblich, daß die Carboanhydrase bzw. das mit ihr verbundene Blutpuffersystem maßgeblich für eine hormonale Steuerung der CO_2 Abgabe in den Lungenalveolen sorgt (44).

Bei erhöhtem Luftdruck fand v. LIEBIG (47) 1875 die CO_2 Ausscheidung beim Menschen vermindert.

Nach ASSMANN (4) bleibt die CO_2 Spannung der Alveolarluft auch bei sehr unterschiedlichen Bedingungen nahezu völlig konstant (etwa 40 mm Hg). GEYER (27) kommt in seinen CO_2 Untersuchungen zu gleichem Ergebnis und kann keinen wetterbedingten Einfluß (Feuchte, Temperatur) auf die CO_2 Abgabe feststellen, allerdings beurteilt er nicht einen evtl. Tagesgang.

ANTHONY (3) konnte an 9 Versuchspersonen durch Atmung eines 50 und 75 %igen Sauerstoffgemisches im Überdruck feststellen, daß der Sauerstoffverbrauch und die Kohlensäureabgabe nicht beeinflußt wurde. KESTNER (38) hingegen fand bei Kühlreizen CO_2 Veränderungen. Bei Einwirkung eines Kühlreizes wächst zunächst das Atemvolumen, die CO_2 Abgabe nimmt zu, der respiratorische Quotient (Quotient aus CO_2 Abgabe und O_2 Aufnahme) steigt, und das Sauerstoffdefizit wird größer zur Unterstützung der physikalischen Wärmeregulation. Es ist nach seinen Angaben allerdings nicht entschieden, ob es sich bei der Aktivierung der chemischen Wärmeregulation um einen Puffer oder um eine hormonale Wirkung handelt.

In seinem Handbuch zitiert OPPENHEIMER (56) einige Arbeiten, die von einem Tages- und Jahresgang der CO_2 Werte sprechen. Zur gleichen Tages- und Jahreszeit sind die Unterschiede aber gering. Im Gegensatz zu Untersuchungen der O_2 Aufnahme bleiben bei der CO_2 Abgabe viele ungeklärte Dinge. Vor allem in der Frage nach dem Mechanismus einer klimatischen Beeinflussung sind mir keine Theorien bekannt geworden. Es wird deshalb meine Aufgabe sein, neben einer Ergänzung der Untersuchungsergebnisse eine Interpretation dieser Ergebnisse zu wagen.

2.6. Der respiratorische Quotient (RQ)

Der RQ ist zunächst einmal als der Quotient aus CO_2 durch O_2 eine rein rechnerische Größe. Er gibt aber auch, betrachtet man die kalorischen Äquivalente für jeweils 1 l O_2 und CO_2, ein Kriterium für den Energieumsatz ab. Somit ist der RQ auch ein Maß für den intermediären Stoffwechsel. Die für die verschiedenen Grundnahrungsmittel (Kohlehydrate, Eiweiß, Fett) geltenden RQ-Werte können jedem Physiologielehrbuch entnommen werden (38, 65, 68). Dabei ist bekannt, daß der RQ auch bei gleichmäßiger Ernährung einen Tagesgang hat. Er sinkt beim nüchternen Menschen im Laufe des Vormittags dann, wenn zur Verfügung stehende Kohlehydrate langsam schwinden und der Körper mehr und mehr seine Fettreserven angreift. Beschleunigt wird der RQ-Abfall in Kälte oder nach Muskelarbeit (68). Der RQ steigt dagegen an, wenn z. B. Kohlehydrate in Fett umgebaut werden, wobei Sauerstoff im Gewebe entsteht, der zur Minderaufnahme von Sauerstoff in der Lunge führt. Der RQ stellt sich also weniger auf den Ernährungszustand des Menschen, als auf das augenblickliche Stoffwechselgeschehen ein. Dazu kommen Einflüsse, z. B. durch Krankheiten und Hyperventilation. Nach COMROE (12) ändert sich der RQ auch während Inspiration (z. B. Minimum RQ 0.80) und Exspiration (Maximum 0,82), bzw. der Atempausen (Wiederabfall). Er ändert sich also jeden Moment. REIN (65) schlug deshalb vor, in Fällen mit wechselnden Atmungsverhältnissen von respiratorischen Momentanquotienten zu sprechen. Veränderte Atmungsverhältnisse treffen wir auch im Schlaf und in der Narkose an.

GANONG (25) gibt noch weitere Einflüsse auf den Energieumsatz an, wobei er eine Gruppe zusammenstellt, die eliminiert werden kann, indem man die Umsatzbestimmung unter basalen Bedingungen vornimmt. Es handelt sich um Muskelarbeit während oder unmittelbar vor der Umsatzbestimmung, vorangegangene Nah-

rungsaufnahme, hohe oder niedrige Umgebungstemperatur, Größe, Gewicht und Körperoberfläche. Eine andere Gruppe von Faktoren beeinflussen den RQ und sind in Betracht zu ziehen, wenn die Umsatzbestimmung interpretiert werden soll: Alter, Geschlecht, emotioneller Zustand, Klima, Körpertemperatur, Schwangerschaft oder Menstruation und die Blutspiegel der Schilddrüsenhormone sowie Adrenalin und Noradrenalin. Die Stoffwechsel stimulierende Wirkung von Nahrungsmitteln kann nach GANONG 6 Stunden und länger dauern. ROSSIER (69) verdeutlicht die Situation, indem er von einem ventilatorischen und einem metabolischen RQ spricht, die getrennt beeinflußt werden können.

Durch den dominierenden Einfluß des Stoffwechsels auf den RQ ist seine Bedeutung für klimatische Untersuchungen verständlicherweise nicht sehr groß. Auch zur Beurteilung pulmonologischer Fragen stehen heute andere Untersuchungsmethoden zur Verfügung (2). So findet sich in neuerer Literatur kaum noch ein Hinweis auf die Wertung des RQ. (Ebenso verhält es sich mit den Ergebnissen der CO_2 Messungen.)

RUBNER (70) untersuchte unter anderem die Wirkung von Duschen und Bädern auf den RQ. Die Reize gehen über die Haut und sind durchaus anderer Klima- und Temperaturreize vergleichbar. RUBNER kommt zu dem Ergebnis, daß Bäder den RQ stärker steigern als eine Mahlzeit und daß "die Douche über doppelt so stark wie ein Bad derselben Dauer und derselben Temperatur wirkt". ROEPER (67) wiederum wollte mit seinen Untersuchungen über den Einfluß des Seebades auf den respiratorischen Gaswechsel neben anderem die zu seiner Zeit widersprüchlichen Ergebnisse zur Rolle und Beeinflussung des RQ klären. (KESTNER (39), ENDRES (22).) "Der RQ sinkt unter dem Einfluß des Badereizes regelmäßig."

THAUER und WEZLER (80) machten Versuche in einer Klimakammer mit 4 Versuchspersonen. Sie regulierten die Raumtemperatur von 5^{o} bis 50^{o} C in 8 Schritten bei einer relativen Luftfeuchte von 50 %. Für die Temperaturen 30^{o}, 35^{o} und 40^{o} C gab es zusätzlich relative Feuchten von 70 und 90 %. Der RQ zeigte dabei keine gesetzmäßige Abhängigkeit von den eingestellten Außenzuständen. Lediglich scheint "eine mäßige Erhöhung des RQ bei den extrem hohen Außentemperaturen von 45^{o} und 50^{o} C wohl als Ausdruck einer gewissen Hyperventilation regelmäßig zu sein".

2.7. Zur O_2 und CO_2 Analyse stehen verschiedene Methoden zur Verfügung (2, 50, 54)

Während frühere Autoren Analysen im geschlossenen System verwendeten, stehen heute physikalische Methoden zur Verfügung, die eine örtliche und zeitliche Unabhängigkeit zwischen Patient bzw. Proband und Analyseort und -zeit - zumindest begrenzt - zulassen.

Die in geschlossenen Systemen durchgeführten Messungen nach verschiedenen Methoden entsprechen einander im Prinzip (64). Der Proband atmet aus einem Spirometer sauerstoffreiche Luft ein, die nach dem Ausatmen durch Kalilauge geleitet wird. Dort wird das ausgeatmete CO_2 gebunden und nach dem Versuch durch Schwefelsäure wieder ausgewaschen. Im einzelnen soll hier nicht auf die Methode eingegangen werden. Die Versuche von BORGARD und KRETSCHMER wurden mit dem Knipping-Spirographen durchgeführt; BENEDICT, CARPENTIER, COTTLE, CARLSON und CUENOT verwendeten den Bénédict-Apparat und HEINECKER den "Godart Pulmotest" (50).

Die von mir gemachten Atemanalysen sind nach einem Wärmeleitfähigkeitsprinzip und nach einem magnetischen Prinzip gewonnen worden. Eine weitere O_2 Messung auf polarometrischer Grundlage mußte wegen zu großen Streubreiten der Eichkurven unberücksichtigt bleiben. Das von mir verwendete Grundumsatzgerät der Firma HARTMANN & BRAUN, Frankfurt/Main, mißt CO_2- und O_2 Konzentrationen der Atemluft nach dem Prinzip unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit. Aufgrund der Abhängigkeit ihrer Wärmeleitfähigkeit von Zusammensetzung und O_2 bzw. CO_2 Gehalt kann der O_2 Gehalt (resp. CO_2) der Exspirationsluft bestimmt werden. In einer Meßkammer konstant gehaltener Temperatur nimmt ein Strom durchflossener Edelmetalldraht eine bestimmte, von der Wärmeleitfähigkeit des umgebenden Gases

abhängige Temperatur an. Diese ist um so höher, je schlechter das Gas die Wärme leitet. Durch die Temperatur des Leiters wird sein elektrischer Widerstand gesteuert. Aus dieser Messung ist eine quantitative Aussage über die relative Zusammensetzung eines Gasgemisches aus 2 oder 3 qualitativ bekannten Bestandteilen möglich.

Ein zweiter Apparat der Firma SERVOMEX/Ratingen nutzt zu O_2 Messung der Atemluft die Eigenschaft des Sauerstoffs zu paramagnetischem Verhalten in Abhängigkeit von der Temperatur. Die übrigen Gase der Luft sind im Gegensatz zum Sauerstoff schwach diamagnetisch und werden im Magnetfeld abgestoßen. Wird O_2 in das Feld eines kräftigen Magneten gebracht, so sammelt er sich entsprechend Verlauf und Dichte der Kraftlinien an. Bringt man nun einen elektrisch geheizten Draht in das Magnetfeld, so nimmt der Paramagnetismus des O_2 in Folge Erwärmung ab. Das erwärmte O_2 wird dann vom stärker paramagnetischen kühleren O_2 verdrängt. Es entsteht eine stetige Strömung, deren Geschwindigkeit zum Sauerstoffgehalt des Luftgemisches (der Ausatemluft) proportional ist. Diese Strömung wiederum kühlt den Heizdraht, was zu einer meßbaren Änderung seines Widerstandes führt. Die Messung der Widerstandsänderungen ermöglicht eine unmittelbare Bestimmung des O_2 Prozent Gehaltes der Atemluft und Volumenprozent. Beide Firmen geben für ihre Geräte eine Meßgenauigkeit von ca. 1 % an, was sich auf den Vollausschlag für jeden Meßbereich bezieht.

Mit beiden Meßprinzipien stehen uns Geräte zur Verfügung, die sich einfach justieren lassen, geringe Wartungsleistungen erfordern und einfach ablesbar sind. Sie eignen sich deshalb besonders gut für Langzeitversuche (s. Kap. 3.5.).

3. Material und Methodik

3.1. Bioklimakammer

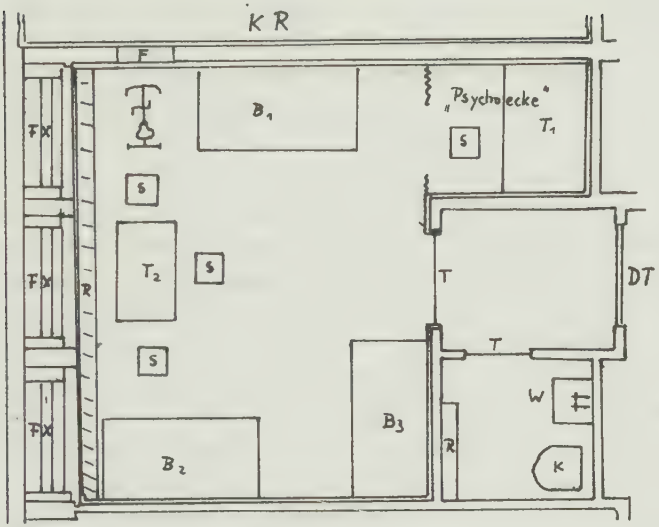

Fig.4

A = Außenwand, besonders wärme- und feuchtigkeitsisoliert, sowie Abschirmung der gesamten Klimakammer und KR nach dem Prinzip des Faraday'schen Käfigs

KR = Kontrollraum, in dem Frühstück und Abendessen, sowie die Klimareize stattfanden

F, FX = Fenster, Fenster mit Xenondampflampen für künstliches "Tageslicht"

DT, T = Doppeltür, Tür

$B_{1, 2, 3}$ = Klappbett für Versuchsperson 1, 2, 3; Tische; Sessel

$T_{1, 2,}$ S

R, W, K = Regal; Waschbecken; Klosettschüssel

Die Klimakammer war von den Versuchspersonen mit persönlichen Dingen, Büchern, Blumen, Postern, sowie Radio und Fernsehen ausstaffiert worden, um ein möglichst angenehmes und natürliches "Raumklima" zu vermitteln.

3.2. Das Versuchsklima

Die Meinungen, welche Komponenten des Wetters auf den Menschen besonderen Einfluß haben, gehen weit auseinander. Umfassend argumentiert REINDERS (64), (ähnlich DE' RUDDER (71), DAUBERT (17) und ASSMANN (4)), der als biotrope Klimakomponenten neben Temperatur, Luftfeuchte und Luftdruck auch Luftbewegung, Lufterneuerung, Sauerstoff, Ozon bzw. Aran (s. S. 15) Gehalt, Luftelektrizität, ionisierende Strahlung, Licht und Farbe, sowie Schall und Lärm bespricht, dies aber immer wieder mit besonderem Blickpunkt auf geschlossene Räume tut. HELLPACH (31) dagegen beschränkt sich auf 3 Komponenten, die er für besonders wichtig hält: Licht, Temperatur, Wind. Die Einteilung des Wettergeschehens nach Wetterphasen durch UNGEHEUER (85) und BREZOWSKY (s. S. 9) unterscheidet grob 3 oftmals ineinander übergehende, bzw. sich ablösende biotrope Wirkungen. Phase 1, 2, 6 und 8 ist biotrop gering wirksam, was biologisch günstig ist, Phase 3 (3A und 3F) hat zeitweilig biotrope Reize, die sich biologisch ungünstig auswirken; die Phase 4, 5 und 6Z schließlich sind dauernd biologisch ungünstig (nach RADDATZ (61) ist Phase 3 besonders ungünstig). Mit dieser Einteilung des Wettergeschehens sind mehr qualitative Oberbegriffe geschaffen. Sie stellen Zusammenfassungen ähnlicher Einzelzustände dar. Aus diesem Grunde war es erwünscht, die Wetterphasen und ihre Übergänge differenzieren zu können. Die Forderung lautete dabei, ein Maß zu schaffen, welches - bestehend aus physiologisch besonders wirksamen meteorologischen Größen - gleichzeitig in der Lage ist den überwiegenden Teil der die Biosphäre prägenden Faktoren zu beschreiben. UNGEHEUER hat hierfür die Temperatur und die Luftfeuchte ausgewählt. Zur Begründung führt er an, daß Bewölkung, Strahlung, einschließlich Gegenstrahlung, Niederschlag, Verdunstung, Wind und Windstruktur (somit Stabilität und Labilität der vertikalen Temperaturschichtung, sowie Ab-

kühlungsgröße) eng miteinander verflochten sind und sich in ihrer Summenwirkung im Temperatur-Feuchte-Milieu wiederspiegeln. Es können sich also keine der genannten Größen ändern, ohne eine Änderung von Temperatur oder Feuchte oder Beiden zu bewirken.

Damit war eine Brücke hergestellt zu den Beobachtungen und Forderungen DIRNAGL's (19), aus dem Jahre 1953, Temperatur und Luftfeuchte besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

Die Klimakammer, die zu den vorliegenden Versuchen benutzt wurde, kann den oben genannten Tatbestand auch in besonderer Weise berücksichtigen. Neben der stufenlosen und unabhängig voneinander regulierbaren Temperatur und Luftfeuchtigkeit ist auch Luftbewegung und Helligkeit regulierbar. Als Beleuchtung dienen Xenondampflampen. Ihre Regelung und Dimensionierung ermöglicht Helligkeiten, wie sie bei strahlendem Sonnenschein in südgelegenen Räumen anzutreffen sind. Der Bioklimaraum, sowie der angrenzende Kontrollraum (KR) und das Versuchsbad sind gegen die Außenwelt mit mehreren feuchtigkeits- und wärmeisolierenden Schichten, sowie nach dem Prinzip des Faraday'schen Käfigs abgeschirmt. Von den elektromagnetischen Feldern kann der elektrische Vektor bis zu einer Frequenz von etwa 50 khz nicht oder stark geschwächt ins Innere dringen. Auf eine gesonderte Regulierung des Luftdrucks mußte beim Bau aus finanziellen Gründen verzichtet werden. Der Luftdruck während des Versuches war also mit dem der Außenwelt praktisch identisch.

Aufbau und Anordnung des Versuchs aus klimatischer Sicht erfolgte nach folgenden Überlegungen: Um die Einflüsse von Wetterkomponenten Temperatur und Feuchte auf den Organismus studieren zu können, muß gesichert sein, daß andere Klima- oder Wetterkomponenten konstant bleiben oder keinen Einfluß haben. Das gleiche gilt, vermutlich in stärkerem Maße, auch für

nicht klimatische Einflüsse, die das Befinden der Versuchsperson und somit den Versuch beeinträchtigen. Die Bemühungen gingen dahin, einen befindensneutralen Tagesablauf einer Durchschnittsperson so gut wie möglich nachzuahmen. Aus allgemeinen Wetterstudien ist dazu bekannt, daß der Stadtmensch, aus dessen Reihen ja die meisten Wetterbeschwerden kommen (61), sich täglich etwa 1 - 2 Stunden im Freien oder an Orten aufhält, wo das Raumklima nicht wirkt. Der Einfluß von Temperatur und Feuchte der freien Atmosphäre auf das "Raumklima" einer Wohnung oder eines Büros reicht zur Erklärung von Wetterfühligkeit und Wetterempfindlichkeit sicher nicht aus (s. a. (6)). Deshalb wurde in unserem Versuch den kurzfristigen Klimaschwankungen, die den erwähnten 1 - 2 Stunden des Außenaufenthaltes des täglichen Lebens entsprechen zentrale Bedeutung beigemessen.

Der im nachfolgenden Teil geschilderte Versuchsablauf fand ausschließlich im Bioklimaraum statt. Hier herrschte während des gesamten Versuchs ein Klima, das dem "Behaglichkeitsbereich" anderer geschlossener Räume vergleichbar war. Nach REINDERS (64) liegt dieser Bereich für den leicht bekleideten Menschen bei ruhigem Sitzen zwischen 19^{o} und 27^{o} C (für leichte Arbeit zwischen $17,5^{o}$ und 22^{o} C). In unserem Versuch lag die Behaglichkeitstemperatur mit etwa 21^{o} - 25^{o} C etwas höher, denn die VPs trugen nur leichte Turnkleidung und durften auch unter Ruhebedingungen nicht frieren. In der Nacht und am Morgen lag die Temperatur um etwa 3 Grad niedriger, während sie tagsüber leicht anstieg und in den Mittags- und frühen Nachmittagsstunden den Höhepunkt erreichte. Die Luftfeuchtigkeit lag etwa bei 65 %. Durch diese Gleichförmigkeit war es möglich die Klimareize abzuheben.

Die bereits erwähnten Klimareize fanden zum Frühstück und Abendessen im Kontrollraum (KR) statt. Aus Fig. 5 geht hervor, an welchen Tagen morgens und abends Klimareize stattfan-

den. Die Größe und Art des Reizes war den VPs nur durch ihr subjektives Empfinden bekannt. Die Klimareize sind durch waagerechte Balken gekennzeichnet. Die Symbole W, K, F, T stehen für warm, kühl, feucht, trocken. Zur Erläuterung muß gesagt werden, daß ein Kühlreiz (z. B. K Tag 9), der am Morgen während und nach dem Frühstück stattfand, Versuchsturn 2 - 5 beeinflußt, ein Abendwarmreiz (z. B. W Tag 18) allenfalls den 1. Versuchsturn des darauffolgenden Tages. Analoges gilt natürlich für jeden Reiz. Aus den drei Kurven geht eine deutliche Streuung der Werte auch für die "reizfreien" Tage bzw. Turns hervor, die manchmal den Reizen in ihrer Größe recht nahe kommen (s. Tag 18 absolute Feuchte).

Über einen morgendlichen Reiz besonderer Art muß kurz gesprochen werden. Die 3 VPs gingen nach Beendigung des 1. Turns in den Kontrollraum und von dort ins Bad. Dort duschten sie täglich bei 35^{o} C Wassertemperatur 5 Min. lang. Nach RUBNER (70) (er ließ 200 - 300 sec duschen) wirkt eine Dusche über doppelt so stark wie ein Bad derselben Dauer und Temperatur auf den respiratorischen Gasstoffwechsel. Nach 1 - 1 1/2 Stunden fand er keine Wirkung mehr. Geringfügige Auswirkungen könnten sich also täglich in gleicher Weise noch für T2 ergeben, ohne daß dies im weiteren berücksichtigt werden kann.

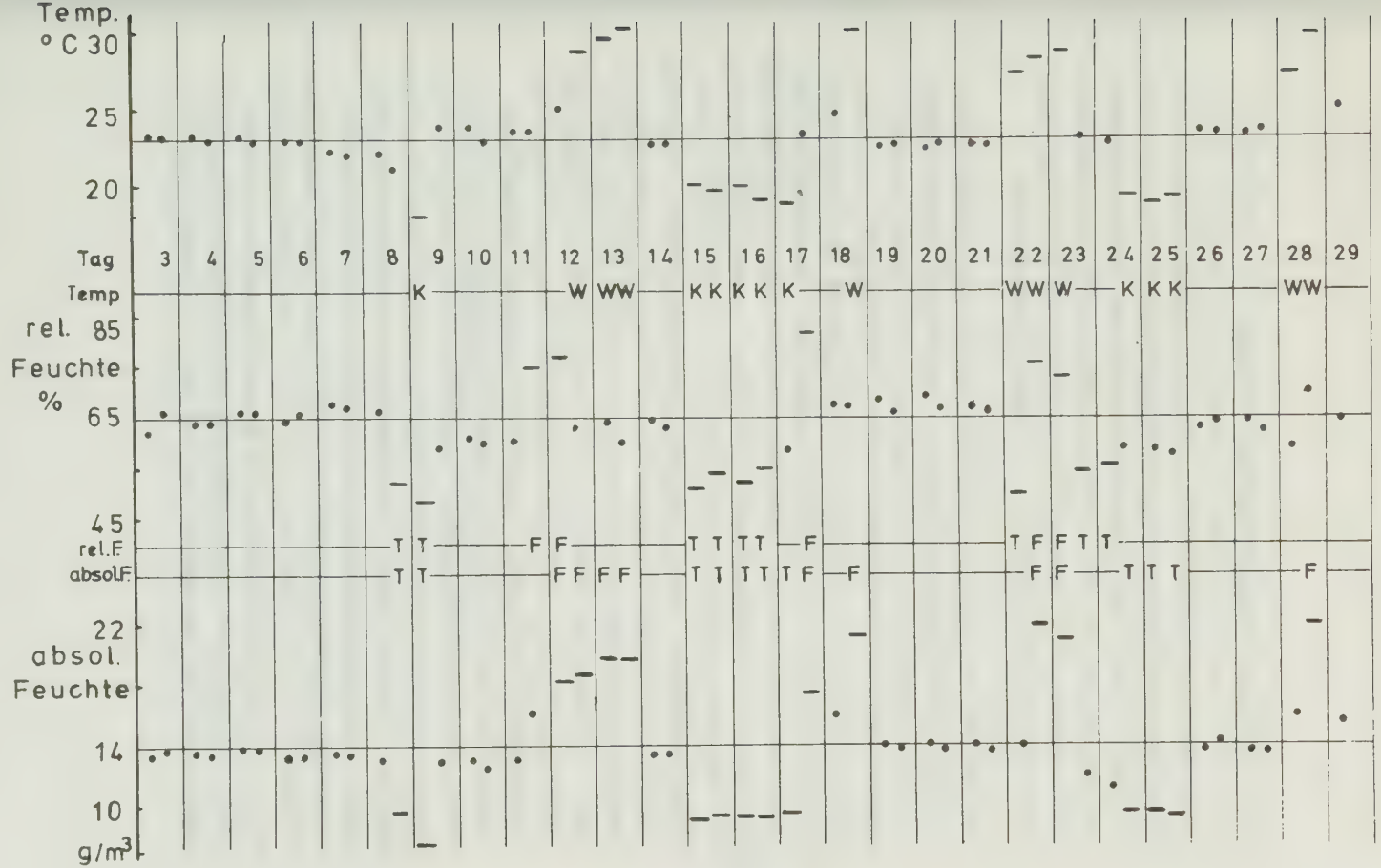

Fig. 5 Übersicht der Klimareize

3.3. Versuchsablauf und Versuchspersonen

Ab Dezember 72 trafen sich bis Versuchsbeginn am 8.3.73 in 14tägigem Abstand Versuchspersonen und Versuchsleiter zu einleitenden Gesprächen, die Arbeitsverteilung und Vorbereitungen regeln sollten. Unter Führung der Institutsleitung wurden Möglichkeiten und Ziele des Versuchs mit den 3 VPs und den 3 Versuchsleitern (ebenfalls Studenten) abgesprochen.

Der Versuch bestand aus 29 Versuchstagen, die jeweils von 8.30 Uhr eines Tages bis 8.30 Uhr des darauffolgenden dauerten. Ein Versuchstag war so angelegt, daß das Versuchsprogramm sich 5 mal für jede VP genau gleich wiederholte. Die VPs verließen nur 2 mal täglich für 1 Stunde die Klimakammer. Eingeleitet wurde ein Versuchstag mit dem Aufenthalt im Kontrollraum (KR), wo das Frühstück (und das Abendessen) mit den Versuchsleitern eingenommen wurde. Hier fanden zum Frühstück und zum Abendessen auch die Klimareize statt. Nach je einer Stunde Aufenthalt ging es in die Klimakammer zurück. Dort begann das Versuchsprogramm mit Turn 2, der ca. 75 Minuten dauerte. Er verkürzte sich später um etliche Minuten, weil die 3 VPs kaum mehr "Leerminuten" zwischen den einzelnen Versuchsteilen brauchten. Die Mittagspause begann um 11.00 Uhr und endete um 12.30 Uhr. Das Mittagessen wurde ebenso wie Dessert und Tee in der Klimakammer eingenommen. Turn 3 wurde von einem gemeinsamen Dessert abgelöst. Um 14.30 Uhr begann Turn 4. Ihm folgte ein gemeinsamer Nachmittagstee. Turn 5 begann um 17.00 Uhr. Punkt 18.30 Uhr konnten die VPs zum zweitenmal ihre enge Behausung für 1 Stunde verlassen. Während dieser Zeit wirkte an bestimmten Tagen (s. S. 36) wieder ein Klimareiz. Ab 19.30 Uhr war für die VPs das Wichtigste eines Versuchstages abgeschlossen. Es begann sozusagen die Freizeit. Ein Teil der thermischen Versuche lief allerdings die ganze Nacht bis zum Wecken um 6.45 Uhr. So wurden um 22.30

Uhr von den VPs Thermorectalfühler eingeführt, mit denen die Körpertemperaturen auf einen Fernschreiber registriert wurden. Das Licht wurde etwa um 23.00 Uhr gelöscht. Um 7.00 Uhr des folgenden Tages schloß sich dann Turn 1 an und leitete in den nächsten Versuchstag über. Der Tagesablauf ist in nachfolgender Graphik zusammengefaßt.

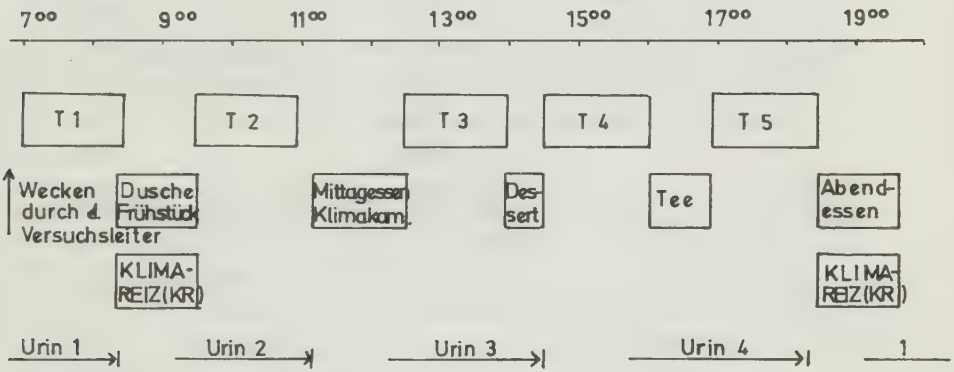

Fig.6 Der Versuchstag

In der letzten Rubrik sind die Sammelzeiten für den im Gesamtversuch untersuchten Urin dargestellt.

Im folgenden möchte ich kurz die wesentlichen Bestandteile eines Versuchsturns darlegen: Die 3 VPs hatten ein gestaffeltes Versuchsprogramm, denn sie mußten sich gegenseitig bei manchen Versuchen helfen (z. B. beim Anfertigen eines EKG's). (s. Fig. 7.)

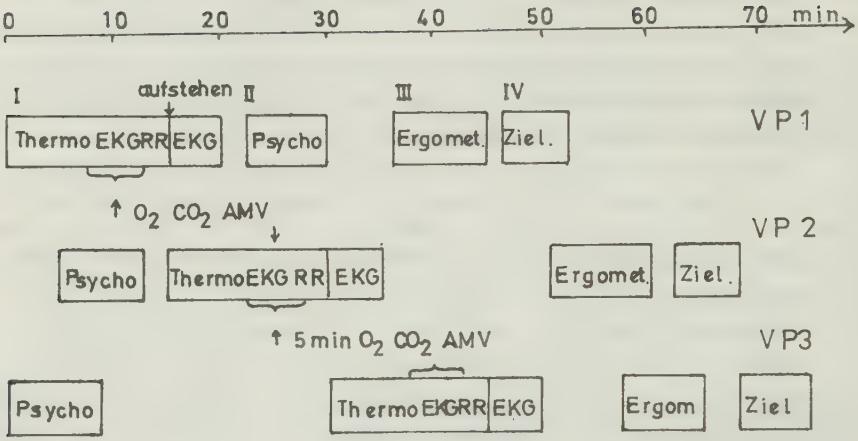

Fig. 7 Turnablauf

Die 4 Versuchsblocks setzten sich aus zahlreichen Einzelversuchen zusammen. Die Thermoversuche, die unter Ruhebedingungen im Liegen gemacht wurden, setzen sich aus 6 verschiedenen Körperteiltemperaturen und ihren Veränderungen zusammen (Stirn, Handrücken, Daumen li., Wade, Fußrücken und große Zehe re.). Die Veränderung der Temperaturen wurde vor allem nach 1-minütigem kalten Fußbad (13° C) verfolgt. Während dieser Wiedererwärmungszeit wurden neben einem Ruhe-EKG und dem Blutdruck in Ruhe auch die Douglassäcke für die Atemgasanalysen gefüllt. Es schloß sich nach dem Aufstehen (siehe Fig. 7) ein vereinfachter Schellong Test und ein weiteres EKG an.

Der sogenannte "Psychoblock" umfaßte Versuche, bei dem die Lidschlagfrequenz unter verschiedenen Bedingungen gezählt wurde. Anschließend wurde die Flimmerverschmelzungsfrequenz

gemessen und eine individuelle Farbmischung durchgeführt. Während des mit "Ergo" bezeichneten Versuchsteils wurde 6 Min. lang unter 175 Watt Belastung geradelt, die Herzfrequenz gemessen und anschließend Schweißproben von der Stirn der VPs entnommen. Es folgte der mit "Ziel" bezeichnete Muskelkoordinationstest, der eine Art Zielfechten aus 1 m Abstand an eine Meßzielscheibe darstellte. Daneben gab es noch kleinere tägliche Aufzeichnungen, die nicht zum Programm des Turns gehörten. So wurde beispielsweise täglich das in der Klimakammer probeweise eingestellte Tageslicht subjektiv bewertet, bevor es auf normale Tageslichtwerte eingestellt wurde.

Die Charakteristik der Versuchspersonen (VP) hinsichtlich ihrer vegetativen Grundstimmungslage (9, 36, 80) läßt sich meiner Meinung nach nicht sicher geben. Allerdings läßt sich nach KRETSCHMER (42) eine Typologisierung wie folgt angeben: VP1 ist pyknoider Athletiker (81 kg), VP2 leptosom (66,5 kg), VP3 leptosomer Athletiker (64 kg). Die VPs waren gesund, 24 und 25 Jahre alt und Studenten der Medizin. Es wurde vereinbart, während der gesamten Versuchszeit auf Alkohol und Nikotin (Begründung siehe S. 12), sowie auf einige biochemisch aktive Nahrungsmittel (z. B. Tomaten, Bananen) zu verzichten. Dies bedeutete für die VPs keine größere Belastung im Gegensatz zu dem Gedanken der Abgeschiedenheit von der Umwelt. Wohl gab es Fernsehen, Besuche und Telefonate von und nach draußen, aber der Erlebnisbereich reduzierte sich während dieser 29 Versuchstage doch auf die Klimakammer und den voll klimatisierten Vorbereitungsraum sowie das Bad. Aus dem handgeschriebenen Protokoll geht manch schwankende Stimmungslage hervor, ohne daß es allerdings zu gröberen Unmuts- bzw. Rivalitätsbekundungen gekommen wäre, die den Versuchsablauf hätten beeinträchtigen können. Die psychologisch und menschlich gehaltene Einführung in das Versuchsgeschehen durch das

Institut war hier sicherlich maßgebend von Nutzen.

Die hier mehr global aufgezählten Einzelversuche jedes Turns wurden von den 3 Versuchspersonen und den 3 Versuchsleitern nach Sachgruppen getrennt bearbeitet. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Auswirkung der Klimareize nach Turn 1 und 5 auf den menschlichen Lungengasstoffwechsel. Die apparativen Möglichkeiten, mit denen ein Langzeitversuch auskommen muß, bedingten die Beschränkung der Auswertungsparameter auf das abgegebene CO_2 und das aufgenommene O_2.

3.4. Versuchsbeschreibung

Aus Abb. 6 und 7 geht der Zeitpunkt hervor, zu dem die VPs die Luft für die Atemgasanalyse sammelten. Zur gleichen Zeit fand ein 1-minütiges kaltes Fußbad (13° C) mit Messung der Wiedererwärmung statt. Dies muß zwar unbedingt als kalter Temperaturreiz angesehen werden, jedoch beeinflußt er die Atmung, wenn überhaupt, dann immer in gleicher Weise. Eine besondere Berücksichtigung dieses Reizes erscheint mir deshalb weder nötig noch möglich, da er, wie das morgendliche Duschen zum täglich identischen Teil des Versuchs gehört.

Die Atemluft wurde genau 5 Minuten lang durch ein Ventil eingeatmet, welches sich beim Ausatmen schloß und den Luftstrom in einen Douglassack lenkte. Danach wurde die Analysenluft an den Meßaufbau angeschlossen (Fig. 8). Die 3 VPs hatten je einen eigenen Douglassack zur Verfügung. Die Gasanalyse wurde meist während, teils nach den Turns gemacht.

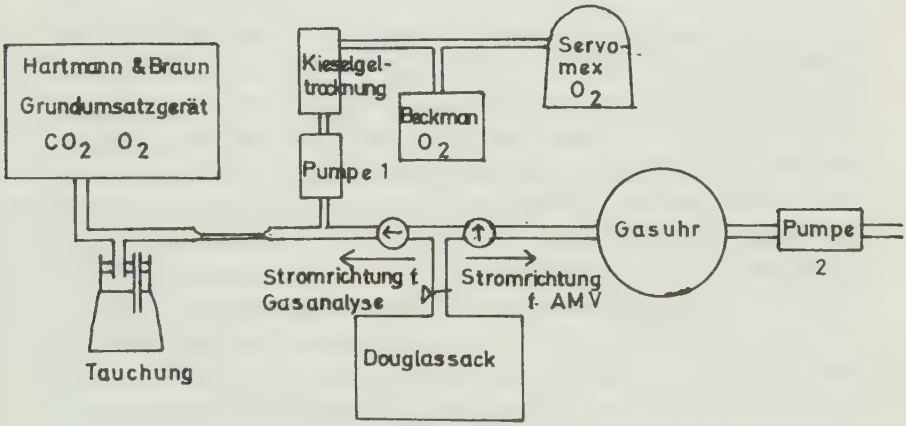

Fig. 8 Prinzip des Meßaufbaus

Zur Handhabung der Geräte während des Versuchs muß gesagt werden, daß zunächst eine exakte Nullstellung mit anschließender 5-minütiger Messung des O_2 bzw. CO_2 Gehaltes der Ausatemluft erfolgte. Dann wurde der Luftstrom zur Messung des Atemminutenvolumens (AMV) umgeleitet und der Douglassack leergepumpt (Pumpe 2). Die während des ersten Teils der Messung durch die Geräte streichende Luft betrug 4,6 1/5 Min. $\pm$ 6 %. Dieser Betrag wurde bei der Registrierung dem AMV-Wert zugezählt. Ab dem 10. Versuchstag wurden regelmäßig, mindestens einmal täglich eine Eichung der Geräte mit einem Eichgas konstanter Zusammensetzung durchgeführt. Aufgrund dieser Messungen, die für das Beckmann-Gerät Streuungen bis 15 % ergaben, wurde auf die diesbezügliche Auswertung verzichtet, zumal der O_2 Wert ja noch von 2 anderen Geräten vorlag. Die Geräte waren zusätzlich einfacher zu justieren.

3.5. Bearbeitung des Datenmaterials und Methodik der Auswertung

Die Atemgasanalysen aus den Douglassäcken wurden 5 Min. lang durchgeführt, nachdem sich in Vorversuchen zeigte, daß erst nach 3 - 4 Min. die definitiven O_2 und CO_2 Konzentrationen ablesbar waren. Anschließend wurden die Säcke leergepumpt und dieser Atem-5-Minutenvolumenwert im Protokoll festgehalten. Dennoch konnten einige Pannen nicht ausgeschlossen werden. So wurden zu manchen Turns die Geräte falsch justiert oder nach Wechseln der Trockensubstanzen Wasser in die Meßsysteme gebracht, wodurch für mehrere Stunden eine Messung mit diesem Gerät unmöglich wurde. Die vereinzelten Lücken wurden entweder durch die Ergebnisse der doppelten Messungen (O_2) geschlossen oder, wenn dies nicht möglich war, aus dem Durchschnitt des gleichen Turnwertes des vorangehenden und des nachfolgenden Tages. Dies war dreimal nötig. Davon wurde aber nur einmal ein Turn betroffen, dem ein besonderer Klimareiz vorausging. Es war Turn 1 am Tag 13 für die Versuchspersonen 2 und 3, ein Frühturn also, dem ein Warm- und Feuchtreiz am Abend vorausging.

Der nächste Schritt sollte aus O_2 und CO_2 Prozenten und dem Atem-5-Minutenwert der Gasanalyse, die pro Minute aufgenommenen, bzw. abgegebenen O_2 bzw. CO_2 Mengen machen. Das geschah mit Hilfe eines einfachen Rechenprogramms. Die Ergebnisse aus den Sauerstoffmessungen des ersten und zweiten Meßgerätes (s. Kap. 3.4.) wurden gegeneinander verrechnet, und der Mittelwert aus beiden für die weiteren Auswertungen genommen. Dies war möglich, da die Streubreite bzw. Standardabweichung beider Geräte etwa gleich groß war. Der nächste Schritt, aus den berechneten O_2 und CO_2 Mengen beurteil- und diskutierbare Ergebnisse zu machen, schlug zunächst mit dem Versuch die Tage einzeln miteinander zu vergleichen, fehl.

Die Versuchsbedingungen waren zwar jeden Tag absolut gleich, doch reichte dies nicht aus, Ergebnisse zu erhalten, die mit denen unter Grundumsatzbedingungen vergleichbar wären. Die Streuung der O_2 und CO_2 Mengen von einem Turn zum nächsten, aber auch der gleichen Turns an aufeinander folgenden Tagen, war zu groß, um einen Trend direkt ablesen zu können. Die kurzfristigen Erholungszeiten im Liegen nach dem ersten Teil des Versuchsturns brachte für alle VPs zu unterschiedliche Ruhewerte. Ein zweiter Versuch bestand darin, alle Ergebnisse eines Turns pro Person in einem Diagramm gegen die Temperatur oder Luftfeuchte aufzutragen. Ihr lag die Überlegung zugrunde, daß möglicherweise die Ergebnisse, die unter den gleichen klimatischen Bedingungen gewonnen wurden, um einen deutlich erkennbaren Mittelwert schwanken würden. Dies scheiterte ebenfalls an der Unübersichtlichkeit. Ich entschloß mich nun alle Versuchsergebnisse aus den gleichen Turns, die unter den gleichen Klimabedingungen gemessen wurden, zu einem Wert zusammenzufassen. So entstand eine überschaubare Zahl von Ergebnissen, die zudem noch direkt im Kurvenmaterial (Kap. 7) miteinander vergleichbar ist. Es erschien mir sinnvoll, die Ergebnisse 1) für O_2 und CO_2 und RQ, 2) für die VP1, VP2 und VP3 und 3) für Temperaturen, relativer und absoluter Luftfeuchtigkeit getrennt darzustellen. Jede Seite hatte also 5 Teilkurven ("warm", "kühl" - bzw. "feucht" und "trocken" - "feucht", "trocken", - "ohne Reiz", "Summe" und eine Zusammenfassung der Kurven warm und kühl (bzw. feucht und trocken), in der Kurve "mit Reiz"). Wie aus der Raumklimaübersicht (Fig. 5 S.36) hervorgeht, gab es aber eine recht unterschiedliche Anzahl von W-, K-, F- und T-Reizen. So gab es zwar nur zwei Feuchtreize nach der absoluten Skala. Diese unterschiedliche Anzahl der Werte (Kennzeichnung unter "n"), aus denen sich die Kurven zusammensetzen, muß später in besonderer Weise bei der Besprechung der Ergebnisse und ihrer Wertung berücksichtigt werden. Um aber ein Maß für die Streu-

ung der Werte zu schaffen, von der ich oben gesprochen habe, und diese auch optisch zu dokumentieren habe ich exemplarisch in die Zeichnung die sog. mittlere Fehlerabweichung $S_{\bar{x}} = \frac{\text{Standardabweichung}}{\sqrt{n}}$ für jeden Punkt eingezeichnet. Eine große mittlere Fehlerabweichung bedeutet dabei, daß viele Einzelergebnisse stark um den dargestellten Mittelwert $\bar{x}$ streuen, umgekehrt bedeutet eine kleine Fehlerabweichung eine gute Übereinstimmung aller Einzelergebnisse. In Abb. 3 S.92 (für O_2) und Abb. 14 S.103 (für CO_2), habe ich $S_{\bar{x}}$ eingezeichnet. Die Überprüfung hat ergeben, daß die Streubereiche in allen anderen Zeichnungen der dargestellten sehr ähnlich sind.

Auf den Ordinaten der Zeichnungen (Ausnahme Abb. 2 und 13) befinden sich die Angaben des Versuchsturns in unterschiedlich weitem Abstand. Dies gibt so genau wie möglich den zeitlichen Tagesverlauf des Turns wieder. Die längste Zeit lag also zwischen T2 und T3, die kürzeste zwischen T3 und T4. Darüberhinaus möchte ich ins Gedächtnis zurückrufen, daß die Klimareize zwischen T1 und T2, sowie nach T5 lagen. Dies bedeutet also, daß zwischen Klimareiz und der O_2 Aufnahme (und CO_2 Abgabe) verschieden lange Zeit verstrich.

4. VERSUCHSERGEBNISSE

4.1. Ergebnisse der O_2 Messungen

4.1.1. Betrachtung der durchschnittlichen O_2 Aufnahme jeder Person in jedem Turn (Tagesgang des O_2 Verbrauchs), sowie Vergleich der Summen der O_2 Werte jeden Tages und jeder Person (Abb. 1 und 2, S.90)

Zwischen den Mittelwerten der einzelnen Versuchsturns jeder Person (Abb. 1) und der Mittelung dieser Turns zu einer neuen Kurve (Abb. 1, 4. Teilkurve) bestehen vielfältige Gemeinsamkeiten. Vorweg: VP1 hat einen im Mittel um 25 % höheren O_2 Verbrauch. Die Sauerstoffaufnahme ist am Morgen bei allen VPs am geringsten. Sie steigt von T1 zu T2 bei VP1 und 2 um 22,5 bzw. 26,5 %, und bei VP3 um 17,5 %. Dieser geringfügige prozentuale Unterschied wäre unerheblich, wenn VP3 nicht einen von VP1 und 2 stärker differierenden Tagesgang im O_2 Verbrauch aufweisen würde. Beide VPs zeigen von T2 bis T5 nur im T4-Wert Schwankungen. T4 liegt um 1 % und 6,5 % unter den anderen Werten. Anders VP3, die nach dem charakteristischen Anstieg von T1 nach T2 eine kontinuierliche Abnahme des O_2 Verbrauchs bis 10 % über dem Morgenmittel aufweist. Die Summenkurve aller drei VPs ist in ihrem Verlauf der von VP1 ähnlich.

Abb. 2 zeigt die Mittelwerte des O_2 Verbrauchs pro Tag aus Turn 1 - 5 jeder Person. Für alle drei Versuchspersonen zeigt sie extrem niedrige Anfangs- und Endwerte am Tag 3 und 29. Schuld an diesen Sprüngen dürfte die noch nicht vollständig überwundenen Anfangsschwierigkeiten bzw. das nach 29 Tagen Versuch herbeigesehnte Ende sein. Der Kurvenverlauf von VP1 zeigt wenig herausragende Einzelheiten. Die Tagesmittelwerte schwanken zwischen 0,41 und 0,47 l O_2/min. Sie sind errechnet als Mittel aus T1 bis 5 jeden Tages. Das bedeutet von einem

gedachten Mittelwert aus (dargestellt in Abb. 2 als waagerechte Linie) Schwankungen von ca. 6 %. Nur ein Wert ragt aus diesem Band nennenswert heraus. Es ist der 17. Tag mit 0,485 l O_2/min. - VP2 dagegen zeigt z. T. große Sprünge im Kurvenverlauf. Eine Abnahme des O_2 Verbrauchs um über 30 % befindet sich von Tag 15 auf 16. Sprünge befinden sich mit Zunahmen von 10 % oder etwas mehr von Tag 5 nach 6, 16 nach 17 und 27 auf 28; gleich große Abnahmen von 17 nach 18 und 20 auf 21. Von Tag 4 bis 15 liegen die Werte bevorzugt über der gedachten Mittelwertlinie, von 16 bis 27 vorzugsweise darunter. Annähernd gleich große Werte, um 0,37 l O_2/min., hat Person 2 nur von Tag 10 bis 15. - Ein nicht weniger uneinheitliches Bild hat VP3. Allerdings sind die Sprünge geringer. Einer Wertsteigerung am 5. Tag von 20 % stehen 2 Wertminderungen von 10 % am 13. und 21. Tag gegenüber. Insgesamt liegt die Kurve von Tag 5 bis 20 mit einer Ausnahme (Tag 9) über dem Mittelwert, von Tag 21 bis 29 darunter.

Gemeinsame Kurvenentwicklungen aller drei Versuchspersonen sind selten. Eine gewisse Gleichmäßigkeit kann man von Tag 6 bis 11 bei VP1 und 3, und von Tag 10 bis 15 bei VP1 und 2 beobachten. Dies kann allenfalls in den ersten Versuchstagen auf das Fehlen von Klimareizen zurückgeführt werden, denn Tag 9 hat einen Kühl- (K) und zwei Trocken- (T) reize (Fig. 5, S.). An Tag 12 gab es 2 Feucht- (F) reize, an Tag 13 und 14 2 bzw. 1 Warm- (W) reiz, und an Tag 15 begann die Serie von KT-reizen. Steigende Tendenz der O_2 Verbrauchswerte ist von Tag 15 bis 17 bei VP1 und 3 zu registrieren, was durchaus mit dem erwähnten KT-reiz zusammenhängen könnte. Am Tag 21 gibt es (s. o.) bei VP2 und 3 einen Sturz der Werte von 10 % für den es kein Klimaäquivalent gibt.

4.1.2. Reaktionen der O_2 Aufnahme auf Klimareize bei VP1 (Abb. 3 - 5, S.92)

Abb. 3: Die Teilkurve "ohne Reiz", die aus Werten an den Tagen ohne vorherigen Klimareiz besteht, hat zwischen Wert T1 und T2 eine Steigerung von 22 %. Der weitere O_2 Verbrauch bleibt bis in die Abendturns gleich, wenn man davon absieht, daß T3 knapp 2 % kleiner ist als die übrigen Werte. Die Kurven "Warm" und "Kühl", und die aus ihnen gebildete Kurve "mit Reiz" zeigen dagegen einige Veränderungen: so steigen die T2- und T3-Werte sowohl nach W wie nach K (somit auch für "mit Reiz"). Für T2 steigert sich der Wert nur um 1 % bzw. 3 %, bei T3 sind es allerdings 4 und 8 %. T4 liegt für Warm 5 % niedriger und für Kühl 2 % höher als der T4 Wert "ohne Reiz". Der grundsätzliche Verlauf beider Kurven nach Klimareiz ist also gleich. Bei T3 liegt der Verbrauchsgipfel.

Der O_2 Verbrauch ist in Abb. 4 nach der relativen Luftfeuchte aufgeschlüsselt. Auffallend ist bei den zwei Teilkurven nach Klimareiz der hohe Wert für T1. Er ist um 6 % größer als der T1-Wert ohne Klimareiz. Die Wertzunahme nach T2 bleibt mit 13 % gering. Es folgt bei beiden Kurven eine nochmalige Verbrauchszunahme um etwa 10 %, wobei T3 der höchste Wert überhaupt ist. Die Kurve "Trocken" nimmt dann kontinuierlich wieder ab, während der T4-Wert "Feucht" etwa 5 % kleiner ist als T3 und T5. Die Kurve "ohne Reiz" zeichnet sich durch die hohe Wertsteigerung von 27 % von T1 nach T2 aus. Von T2 bis T4 sinkt die Kurve um 3,5 % und steigt dann zum Abendwert wieder um 2 %. Das Bild der Kurve "mit Reiz" gleicht den beiden Kurvenverläufen "Trocken" und "Feucht", und bietet ebenso wenig Neues, wie die Teilkurve "Summe", die der großen Anzahl (n) von Werten wegen eine große Ähnlichkeit mit der Kurve "ohne Reiz" hat.

Die Abb. 5 "absolute Luftfeuchte" zeigt große Ähnlichkeit mit Abb. 3 "Temperatur". Die Erklärung ist einfach. Ein Großteil der Reize Kühl und Trocken bzw. Warm und Feucht liegen an gleichen Tagen, so daß sich die Kurven zum größten Teil aus den gleichen Zahlen zusammensetzen. So scheint es mir nun sinnvoll, die Ergebnisse der relativen mit denen der absoluten Feuchte zu vergleichen. Vorweg die Beschreibung der Ergebnisse "absolute Feuchte". Die Teilkurven "Trocken" und "Feucht" zeigen gleiche Tendenzen, wenn sie auch nicht ganz gleich sind. Die Steigerung von T1 nach T2 bleibt im normalen Rahmen (ca. 20 %). T3 ist nach einer nochmaligen Steigerung des O_2 Verbrauchs um 10 bzw. 5 % der größte Wert. T4 fällt wieder um etwa den gleichen Betrag. Der Abendwert (T5) steigt noch einmal leicht an. Der O_2 Verbrauch hat in T2 und T5 die größten Werte. T3 und T4 liegen mit 3 und 1 % etwas niedriger. Gegenüber der Teilkurve "mit Reiz" bietet vor allem T3 deutliche Unterschiede. Der Wert liegt nach Klimareiz genau 10 % höher. Im Vergleich der beiden Feuchtigkeitsabbildungen (Erklärung s. Abb. 5, S.36) imponieren die durchwegs höheren Werte von T2, 3 und 5 nach absoluten Feuchtereizen. Die Kurven im einzelnen zeigen gleiche Tendenz und Verlauf. Nur in T5 der Teilkurve "Trocken" gibt es einen Unterschied. In der Abbildung "absolute Feuchtigkeit" steigt der O_2 Verbrauch von T4 nach T5 nochmals an (wie nach den übrigen Klimareizen), während er bei der relativen Feuchtigkeit abnimmt.

4.1.3. Reaktionen der O_2 Aufnahme nach Klimareizen bei VP2 (Abb. 6 - 8, S.95)

VP2 hat mit und ohne Temperaturreiz von VP1 divergierende Kurvenverläufe im O_2 Verbrauch. Die Ergebnisse, die in der Teilkurve "ohne Reiz" zusammengefaßt sind, zeigen wie gewohnt von T1 nach T2 eine 25 %ige Verbrauchszunahme. Die O_2 Aufnah-

me während T2, T3 und T5 ist im Durchschnitt ziemlich gleich groß. Auffallend ist nur ein sehr niedriger T4-Wert. Er ist um 9 % niedriger als T3. Der Verbrauchsanstieg in T5 beträgt über 11 %. Demgegenüber sind die Werte "mit Reiz" in T1, 2, 3 und 5 um 2 bis 3,5 % kleiner. In T4 kommt es nur zu einer geringen Verbrauchsabnahme, sodaß der Wert um 6 % über dem Wert ohne Klimareiz liegt. Die Teilkurve "Warm" zeigt insgesamt höhere Werte. Der morgendliche O_2 Verbrauchsanstieg liegt bei 23 %. Von T2 bis T4 sinkt die Aufnahme kontinuierlich um 5 % und steigt im letzten Versuchsturn wieder um den gleichen Betrag an. Nach Kaltreizen ergeben die Messungen sehr niedrige Ergebnisse für T1, 2, 3 und 5. Gegenüber den Messungen "ohne Reiz" liegt T1 um ca. 15 %, T2 um 7 %, T3 um 3.5 % und T5 um etwa 5,5 % niedriger; nur T4 ist um gut 5 % größer.

Die O_2 Messungen der VP2 ergeben aufgeschlüsselt nach Feuchtreizen für die relative Feuchtigkeit (Abb. 7) ein ähnliches Bild, wobei die Teilkurven "Feucht" und "Warm", sowie "Trocken" und "Kühl", und die Kurven "ohne Reiz" einander ähnlich sind. Im Mittel ist die Teilkurve F 6 % größer als der Mittelwert der Kurve T. Die gemessenen Werte an Tagen "ohne Klimareiz" liegen genau zwischen den T und F Reizen. Im Kurvenverlauf gibt es große optische Ähnlichkeiten zwischen "ohne Reiz" und "Feucht". T2, 3 und 5 sind ungefähr gleich groß, T4 wesentlich kleiner. Die O_2 Werte in "Trocken" sind von T1 bis 3 niedriger als in den anderen Teilkurven, T4 und T5 zeigen etwa gleiche Größe. Daraus ergibt sich ein anderes Bild. Von dem niedrigen T1-Wert aus steigt die Kurve in T2 um 27 % und in T3 um 6 %. Die O_2 Abnahme in T4 beträgt 3 %, die Zunahme in T5 8 %.

Die Ergebnisse aus der Aufschlüsselung nach absoluten Feuchtigkeitsreizen zeigt wenig Neues. Die an T-Reiztagen gemesse-

nen Werte liegen durchschnittlich um 5 % unter und die an F-Reiztagen gemessenen O_2 Werte um 5 % über denen ohne Klimareiz. Die Teilkurve "Feucht" gleicht in ihrer Tendenz der Kurve "ohne Reiz", während die Kurve "Trocken" nach einem sehr niedrigen T1-Wert und einer Steigerung des ersten Vormittagswertes um ein Drittel in T2 bis T5 etwa gleich groß bleibt. Eine deutliche Kurvenunterschiedlichkeit von der Aufschlüsselung der relativen zur absoluten Feuchtigkeit zeigt sich nur bei der Teilkurve "Trocken". Der T3-Wert in beiden Teilkurven ist praktisch gleich groß. T1 und 5 ist bei der absoluten, T2 und 4 bei der relativen Luftfeuchtigkeit niedriger. Die Summenkurve "mit Reiz" hat vor allem in T2, in der Darstellung der absoluten Feuchtigkeit, einen größeren Wert, was an den größeren T2-Werten der sie bildenden Kurven "Feucht" und "Trocken" liegt. Dadurch ergibt sich eine noch größere, optisch gut sichtbare Gemeinsamkeit der Kurven mit und ohne Klimareiz in der Darstellung absoluter Feuchtigkeit.

4.1.4. Reaktionen der O_2 Aufnahme auf Klimareize bei VP3 (Abb. 9 - 11, S.98)

Der wichtigste Unterschied zu VP1 und 2 liegt bei VP3 darin, daß die Wertsteigerung von T1 nach T2 mit durchschnittlich 18 % relativ klein ist, und der O_2 Verbrauch, über den gesamten Versuch gesehen, in T3 bis T5 nur etwa 10 % größer ist als in T1 (Teilkurve "ohne Reiz" und "Summe"). In der Abbildung "Temperatur" (Abb. 9) fällt gegenüber der Kurve "ohne Klimareiz" der höhere O_2 Verbrauch nach K-Reizen auf. Die Kurventendenz bleibt erhalten, jedoch macht sich die Steigerung vor allem in T3 bis 5 bemerkbar, sodaß der oben erwähnte Verbrauchsrückgang nicht so ausgeprägt ist. T1 zeigt in der gesamten Abbildung keine wesentlichen Sprünge. Analog zu den K-Werten verhält sich die Teilkurve "Warm". Die W-Kurve hat

(außer in T1) sehr niedrige Werte, was vor allem bei dem sonst großen T2-Wert auffällt. Er liegt 10 % unter dem Vergleichswert "Kalt". In T4 und T5 werden die Werte der Kurve wieder kleiner. Der T5-Wert ist nur etwa 5 % größer als der T1-Wert. Die Addition der Kurven "Warm" und "Kühl" zur Kurve "mit Reiz" zeigt im Verlauf große Ähnlichkeit zu der Kurve "ohne Reiz".

Anders verhalten sich die Kurven in der nach relativer Luftfeuchte aufgeschlüsselten Abbildung (Abb. 10). Die Kurve "ohne Klimareiz" zeigt große Ähnlichkeit mit der eben besprochenen (Abb. 9), - die Kurve "Summe" ist für jede VP wie immer identisch -, wenngleich vor allem der T4-Wert kleiner ist (2 %). Anders die Teilkurven nach T- und F-Reizen. Am stärksten aus der Reihe fällt der T4-Wert der Kurve "Feucht". Da sich allerdings von T2 bis 5 die Kurve F nur aus zwei Teilergebnissen zusammensetzt, hat ein herausfallender Wert einen bestimmenden Einfluß. Das gemessene Atemminutenvolumen ist mit Sicherheit um mindestens 25 % zu hoch, somit natürlich auch der daraus errechnete O_2 Wert. "Korrigiert" man den falschen T4-Wert, so kann die Kurve "Feucht" wie folgt beschrieben werden: T1 setzt sich aus drei Teilwerten (n = 3) zusammen, und ist etwa 3 % größer als der T1-Wert "ohne Klimareiz". Die Steigerung des O_2 Verbrauchs in T2 ist mit 13 % sehr klein. T3 ist nur um 5 % größer als T1, also der relativ gesehen kleinste Wert überhaupt. Es folgt eine riesige Verbrauchssteigerung in T4, deren genauer Wert wegen des falschen Teilwertes nicht genannt werden kann. T5 ist wieder relativ klein (1,5 % kleiner als T2). Die Kurve "Trocken" hat einen sehr kleinen T1-Wert (über 6 % kleiner als T1 ohne Reiz). Die T2 Steigerung des Verbrauchs ist mit 19 % normal. T4 ist 3 % größer und T5 1 % kleiner als T2. Nimmt man ein Tagesmittel der Kurve "Feucht" und "Trocken", so erniedrigt sich gegenüber dem Mittelwert ohne Klimareiz der Wert von

"Trocken" um 1 % und erhöht sich der Verbrauch in "Feucht" um 5 %.

Die Anzahl der Werte (n) aus denen sich die Kurve "Feucht" und "Trocken", aufgeschlüsselt nach der absoluten Feuchtigkeit (Abb. 11) zusammensetzt, ist größer. Deshalb kommt der absoluten Feuchtigkeit in unserem Fall vielleicht auch größere Aussagekraft zu. Auffällig ist, daß die T2 bis T5-Werte ohne Reiz gegenüber der relativen Feuchtigkeit etwas kleiner sind; die Werte mit Klimareiz somit größer. Die Meßergebnisse von "Feucht" sind nach absoluten Feuchtereizen, mit Ausnahme von T3 etwas, und T4 viel kleiner. Die Durchschnittswerte liegen an Tagen mit Klimareiz, unabhängig ob feucht oder trocken, etwa 3,5 % über den gemessenen Werten ohne Reiz.

4.2. Ergebnisse der CO_2 Messungen

4.2.1. Betrachtung der durchschnittlichen CO_2 Abgabe jeder Versuchsperson in jedem Turn (Tagesgang der CO_2 Abgabe), sowie Vergleich der Summen der CO_2 Werte jeden Tages und jeder Person (Abb. 12 und 13, S.101)

Der Gesamtmittelwert aller Personen in seinem Tagesgang, und die Tagesmittelwerte der einzelnen Personen (Abb. 12) zeigen auffallende Ähnlichkeiten. Bei den 4 Kurven ist der Morgenwert am niedrigsten, der Mittelwert aus Turn 2 in jedem Fall der höchste. Von T2 an sinken die Werte kontinuierlich und haben bei T5 ein relatives Minimum. Eine Ausnahme macht der T4-Mittelwert von VP2. Er liegt 10 % niedriger als der von T5. Der Anstieg von T1 nach T2 ist bei VP1 und 2, und beim Mittel von VP3 etwa drei bis viermal so hoch, wie der Abfall der Werte von T2 nach T5. VP3 zeigt den charakteristischen Anstieg von T1 nach T2; er ist jedoch etwas geringer. Der Abfall von T2 nach T5 ist stärker und erreicht bei T5 zwei Drittel des Anstiegs.

Auf der Abb. 13 sind die Mittelwerte der CO_2 Produktion jeden Tages und jeder Person in drei Kurven aufgetragen. Jeder Wert ist also das Mittel aus den 5 Messungen jeden Tages. Die Kurven aller drei VPs beginnen an Vt 3 mit absoluten Minimalwerten. VP1 und 3 haben zudem fast ebenso kleine Werte am Ende der Versuchszeit am Tag 29. Bei VP2 gehen die Werte immerhin auf ein relatives Minimum zurück. Bei ersten Vergleichen fällt dem Betrachter die unterschiedliche Schwankungsbreite der drei Kurven auf. Abgesehen von Anfangs- und Schlußwerten hat VP1 nur einmal einen Tagesmittelwert, der sich um ca. 15 % von seinen Nachbarwerten abhebt, und zweimal Werte von ca. 10 % Änderung. Alle anderen Schwankungen liegen bei maximal ca. 5 % oder sind gleich Null (fünfmal). Anders VP2. Hier

fallen die Werte der Kurve einmal um etwa 30 % am Tag 16, dreimal um 20 %, und fünfmal um ca. 15 %. Minimal- und Maximalwerte liegen bei VP1 und 3 ca. 25 % auseinander, und bei VP2 um 40 %. Die Schwankungen der Werte liegen bei VP3 zwischen den anderen. Es liegen 2 Abfälle am 13. und 21. Vt von 20 %, ein Anstieg von etwa 15 %, sowie drei Änderungen von durchschnittlich 10 % vor.

4.2.2. Reaktionen der CO_2 Abgabe auf Klimareize bei VP1 (Abb. 14 - 16, S.103)

Abb. 14 gibt zusammengefaßt alle Werte bzw. deren Durchschnitte wieder, die nach Temperaturreizen gemessen wurden.

Betrachten wir zunächst die Werte der Kurven, die unter Reizeinwirkung und ohne Reiz entstanden sind. Die Werte von T1 und T2 unterscheiden sich nur minimal (0,314 und 0,335, sowie 0,414 und 0,422 1/min). T3 läßt optisch leichter einen Unterschied erkennen. Der Wert mit Klimareiz liegt um 8 % über dem ohne Reiz. Die Werte von T4 und T5 liegen wieder eng beisammen (0,409/ 0,402 und 0,4/ 0,398 1/min). Der Vergleich mit der Summe über alle Werte zeigt wieder nur in T3 ein optisch sichtbares Abweichen. Der T3-Wert mit Reiz liegt auch hier deutlich höher. Die noch nicht betrachteten Darstellungen der Warm- und Kaltreize bringen gegenüber der aus ihnen gebildeten Kurve "mit Reiz" nur eine unwesentliche Veränderung: die Werte von T4 liegen um etwa 10 % auseinander und haben damit die größte Abweichung der Darstellung (0,382/ 0,418 1/min). T4 K ist deutlich größer. T1 in den fünf Darstellungen unterscheidet sich nur minimal (0,335/ 0,341 1/min ohne Reiz). Signifikante Unterschiede gibt es also nur in T3 und T4.

In Abb. 15 sind alle Versuchsergebnisse nach dem Gesichtspunkt der relativen Luftfeuchtigkeit aufgeschlüsselt. Schon

auf den ersten Blick läßt sich eine auffallende Ähnlichkeit von drei Kurven feststellen. Es sind die nach Trocken und Feucht gewonnenen, und die aus beiden resultierende Kurve "mit Reiz". Sowohl die höheren Werte von T1 (auch als T1 der Abb. 14), wie auch die relativ niedrigen T2 Werte, das nochmalige Größerwerden in T3 sind bemerkenswert. Die erwähnten Änderungen betragen jeweils etwa 5 %, so daß per Saldo aber das charakteristische, und im ganzen Versuch beobachtete Ansteigen der Werte von T1 und T2 um 11 % geringer werden (vor allem im Vergleich zu Abb. 14). T4 liegt in den Kurven "mit Reiz" (F + T) bei 0,417, in denen "ohne Reiz" bei 0,403 l CO_2/min. Die Werte von T5 gleichen sich, wie schon in Abb. 14, in allen Darstellungen.

Die Kurvencharakteristika in Abb. 16 sind nicht so augenfällig wie eben. Die Werte von T1 differieren wieder nur geringfügig. Die Feuchtreizkurve ähnelt in ihrem Verlauf wieder der Trockenkurve (sowie der Darstellung "mit Reiz"); jedoch liegen die Meßwerte in der ersten Teilabbildung "Feucht" durchwegs geringfügig unter denen aus der Darstellung "relative Feuchtigkeit". Die Trockenwerte liegen dagegen über denen der vorigen Darstellung. Von T3 bis T5 sind die Trockenwerte um etwa 7 % höher als die Feuchtwerte. Charakteristisch ist, wie in den vorangegangenen Darstellungen, daß die Kurven mit Reizklima ihr Kurvenmaximum nicht in T2, sondern alle in T3 haben. Dabei handelt es sich um deutliche Veränderungen. T2 nimmt knapp um 5 % ab, T3 um über 5 %. Dadurch entsteht, wie in den vorangegangenen Betrachtungen das charakteristische Kurvenbild. In den anderen Teilabbildungen ("ohne Reiz", "mit Reiz") gibt es nur wenige und geringfügige Differenzen im Vergleich zu den Kurven der "relativen Luftfeuchte".

4.2.3. Reaktionen der CO_2 Abgabe bei VP2 (Abb. 17 - 19, S.106)

Die Ergebnisse der Temperaturdarstellung (Abb. 17) sind nicht so übersichtlich wie bei VP1. Die Kurvenverläufe von "Warm" und "Kühl" zeigen wenig Ähnlichkeit. Der für unsere Messungen charakteristische Sprung, bzw. Anstieg der Werte von T1 nach T2 ist wie überall auch in dieser Darstellung zu finden. Er ist aber mit durchschnittlich 35 % bei VP2 besonders hoch. T1 liegt bei "Kühl" um 15 % niedriger als bei "Warm", T2 um 12 %; mithin also eine der größten Differenzen dieser summarischen Darstellung überhaupt. Während nun bei Warm die Werte in T3 kleiner werden, sind sie bei Kühl um fast den gleichen Betrag größer.

Die Kurve nach den Klimareizen Warm hat also ihren größten Wert in T2, nach Kühlreizen in T3. T4 und T5 liegen in beiden Versuchsdarstellungen niedriger als die beiden vorangegangenen T2 und T3. Rechnet man beide Reizkomponenten zusammen ("mit Reiz"), so invellieren sich die Charakteristika beider Kurven. Die Kurve hat im Vergleich zu den Werten der Kurve "ohne Reiz" einiges Bedeutsames. Von T3 nach T4 und T5 findet sich nach Reizen eine geringe Abnahme der Werte, wie von VP1 her bekannt. Gegenüber den Tagen ohne Klimareiz bedeutet es allerdings einen Verbrauchsanstieg in T4, und einen Abfall in T5. Eindrucksvollster Unterschied zu VP1 ist der starke Abfall der Kurve "ohne Reiz" von T3 nach T4, und ihr Wiederanstieg in T5. Dies drückt sich natürlich auch in den Werten der Summenkurve aus, die sich ja aus den Werten mit und ohne Klimareiz zusammensetzt.

Die eben beschriebenen Kurvenveränderungen sind im großen und ganzen auch bei den Kurven der relativen Luftfeuchte wiederzufinden (Abb. 18). Optische und rechnerische Übereinstimmung besteht zwischen der Teilkurve "Feucht" in Abb. 18 und der

Teilkurve "Warm" (Abb. 17), sowie "Trocken" (Abb. 18) und "Kühl" (Abb. 17). Die Abbildungen "ohne Reiz" decken sich fast vollständig, die Teilabbildungen "mit Reiz" zeigen große Ähnlichkeit.

Die Feuchtwerte zeigen von T1 nach T2 einen überaus großen Sprung. Sie nehmen um 45 % von den Morgenturns zum ersten Vormittagsturn zu, dann aber kontinuierlich um insgesamt 25 % wieder ab, sodaß ein extrem niedriger T5-Wert entsteht, der seinerseits um 5 - 7 % niedriger liegt als die anderen T5-Werte der Abb. 18. T2 ist, bedingt durch die große Wertzunahme von T1 nach T2, um 12 % größer als einer der T2-Werte aus den Summenkurven, und sogar um 20 % größer als der T2-Wert "Trocken". Die Werte nach Trockenreizen zeichnen sich durch einen Anstieg von T2 nach T3 aus. Von T3 nach T4 folgt die bereits besprochene Abnahme der Werte, nach T5 eine Zunahme. Zusammenfassend kann man sagen, daß durch alle Teilabbildungen hindurch nur T2, und in begrenztem Umfang T5 Schwankungen durchmacht. Die Kurven "ohne Reiz" und "mit Reiz" gleichen sich mit Ausnahme von T2 (er liegt nach Klimareizen etwas niedriger) ziemlich.

Abb. 19 zeigt die CO_2-Werte, verrechnet nach den absoluten Luftfeuchtewerten. Wieder kann nur der Vergleich von relativer und absoluter Luftfeuchte von Interesse sein. Die absoluten Feuchtewerte liegen in T2 bis T4 um durchschnittlich 7 % unter denen der relativen Luftfeuchte. Dadurch entsteht ein geringerer Wertanstieg von T1 nach T2, und auch ein geringerer Abfall von T2 nach T5. Die Kurve "Trocken" hat einen 3,5 % niedrigeren T3-Wert, und einen um 7 % niedrigeren T5-Wert, sodaß die Kurve von T3 nach T5 kontinuierlich abfällt. Die von "Feucht" und "Trocken" gebildete Kurve "mit Reiz" zeigt nicht mehr den Knick in T4, sondern ein von T2 nach T5 Geringerwerden der CO_2 Werte.

4.2.4. Reaktionen der CO_2 Abgabe bei VP3 (Abb. 20 - 22, S.109)

VP3 zeigt einen geringen Anstieg von T1 nach T2. Er beträgt nur etwa 20 %. Die Zusammenfassung aller Werte in der Kurve "Summe" zeigt dann einen fast gleichmäßigen Abfall der Werte von T2 nach T5, wie wir es schon von VP1 kennen. Auf den ersten Blick fällt die Gleichförmigkeit der Kurven in Abb. 20 ins Auge. Vorweg sei eine Ausnahme besprochen. Es ist der T2-Wert der Teilabbildung "Warm". Er liegt auffallend niedrig (- 7,8 % gegenüber dem T2-Wert "ohne Reiz").

Die Kurve "Warm" liegt in allen CO_2 Werten unter den Werten, die an Tagen ohne Klimareiz gewonnen wurden; die Kurve "Kühl" in jedem Fall um etwa den gleichen Betrag über den Werten "ohne Reiz". Der Anstieg der Werte von "Warm" über "ohne Reiz" nach "Kühl" fällt rein rechnerisch weniger ins Gewicht, ist aber optisch-graphisch besonders eindrucksvoll. Wie nicht anders zu erwarten, ist deshalb die Kurve "mit Reiz" nicht nennenswert unterschiedlich. Eine ähnlich klare Aussage läßt auch Abb. 21 zu, in der die CO_2 Werte von VP3 mit der relativen Luftfeuchte korreliert sind. Vorweg muß wieder ein Wert besprochen werden, der das Ergebnis schwer erklärbar und beschreibbar macht. In der Kurve "Feucht" befindet sich mit T4 ein Wert, der sich aus zwei Zahlen zusammensetzt (s. Abb. 21: n = 2). Eine der Zahlen muß als ein Wert gelten, der außer Kontrolle geraten ist. Er liegt um mindestens 25 % höher als erwartet, und verfälscht dadurch den T4-Wert der Kurve "Feucht". Wird dieser Erklärung berücksichtigt, so erniedrigt sich der T4-Wert um etwa 15 % und liegt etwas unter dem von T3. Der T4-Wert in "mit Reiz" erniedrigt sich somit ebenfalls, allerdings wesentlich geringer. Nun ergibt sich, wie eben bei Abbildung Temperatur ein fast einheitliches Bild. Die Werte steigen von T1 nach T2 um durchschnittlich 20 % an

und fallen um gut die Hälfte von T2 nach T5 wieder ab. Die CO_2 Werte nach Klimareizen liegen in T3 um 5 % und in T4 um 7,5 % über den Werten ohne Klimareiz. Diese Erhöhung der CO_2 Abgabe ist sowohl in den Kurven "Feucht", als auch "Trocken" zu beobachten.

Die Ergebnisse aus Abb. 22 seien, wie bei den anderen VPs in Relation zu der relativen Luftfeuchte gesehen. In Abb. 21 verfälscht der Wert "außer Kontrolle" das Ergebnis bei "Feucht" und in bescheidenem Maße bei "mit Reiz". Diese Tatsache berücksichtigt, kann das Ergebnis leicht beschrieben werden. Die Werte von "Feucht" liegen bei der absoluten Luftfeuchte sämtlich niedriger als bei der relativen Luftfeuchte, die T-Werte darüber. Der Kurvenverlauf gleicht sehr stark der beschriebenen Grundtendenz: Von T1 nach T2 eine Steigerung um etwa 20 %, danach linearer Abfall der Werte von T2 nach T5. Eine Einschränkung des klaren Ergebnisses gibt T4 der Teilkurve "ohne Reiz". Er liegt niedriger als T5. Der T4-Wert nach den Klimareizen liegt isoliert um 7 % höher als ohne Klimareiz.

4.3. Ergebnisse aus den Berechnungen des RQ

4.3.1. Aufschlüsselung nach den Temperaturen (Tab. 1 u. Abb. 23, S. 112)

Die RQ-Werte liegen insgesamt relativ dicht beieinander. Aus allen Zahlen findet sich der größte und der kleinste Wert bei VP1. Der größte Wert ist mit 0,93 T1, der kleinste mit 0,84 T5 der Kurve "Warm". Auch bei VP2 sind die größten Zahlensprünge in der Darstellung "Warm" mit 0,84 in T1 und T5, sowie 0,915 in T2. VP3 hat 0,86 in T1 von "Warm", sowie T4 und T5 von "Kühl", und 0,92 in T3 der Kurvenwerte ohne Klimareiz. Die drei Teildarstellungen für VP1 lassen in ihrem Verlauf eine gewisse Parallelität erkennen (Abb. 23). Es ist auffallend, daß alle abgebildeten Punkte eng beieinander liegen. Die kleinste Differenz findet sich in T3, wo die Werte für "Warm" und "Kühl" 0,90 betragen, der Wert ohne Klimareiz 0,905. Die relativ größte Differenz eines Turns findet sich in T5, wo "Warm" 0,84 und "ohne Reiz" 0,88 ist. Für VP2 und 3 gilt ähnliches. Die kleinste Differenz ist in T3 (VP2), bzw. T2 (VP3) die größte in T5 und T1.

Ein weiterer Punkt erscheint mir auffällig. Die Darstellungen der drei Versuchspersonen haben in T5 gemeinsam niedrigere Werte als von T2 bis T4. Sie liegen angedeutet in einer Ebene, wobei T3 etwas größer ist. VP1 hat in T1 die höchsten Werte, VP2 und VP3 die niedrigsten Werte. Vom Beginn eines Versuchstages in T2 ergibt sich also folgende Situation: T2 liegt im Durchschnitt sehr hoch (0,88 - 0,92), steigt in T3 noch geringfügig an (0,89 - 0,92), fällt in T4 merklich ab (0,86 - 0,90) und hat in T5 die niedrigsten Werte (0,835 - 0,83). T1 macht die Ausnahme, daß VP1 sehr hohe Werte hat (0,905 - 0,93), VP2 niedrige (0,84 - 0,875) und VP3 mit starken Schwankungen mittlere Werte hat (0,86 - 0,91).

VP1	T1	T2	T3	T4	T5
Warm	0,93	0,90	0,90	0,88	0,84
Kühl	0,91	0,88	0,90	0,90	0,86
ohne Reiz	0,91	0,91	0,91	0,90	0,88
Summe	0,91	0,90	0,90	0,90	0,87
VP2					
Warm	0,84	0,92	0,89	0,86	0,84
Kühl	0,87	0,89	0,90	0,87	0,85
ohne Reiz	0,88	0,88	0,89	0,88	0,88
Summe	0,87	0,89	0,89	0,88	0,87
VP3					
Warm	0,86	0,91	0,91	0,89	0,88
Kühl	0,87	0,91	0,90	0,86	0,86
ohne Reiz	0,91	0,92	0,92	0,88	0,89
Summe	0,89	0,91	0,92	0,88	0,88

Tab. 1: Der RQ nach den Temperaturreizen

4.3.2. Aufschlüsselung nach der relativen Luftfeuchte (Tab. 2 u. Abb. 24, S.)

Die Berechnungen des RQ's, aufgeschlüsselt nach feuchten und trockenen Klimareizen (sowie den Werten ohne Klimareiz) zeigt optisch ein von den eben beschriebenen Kurven differierendes Bild. Die Werte von VP2 und 3 zeigen weit größere Streuung innerhalb der einzelnen Turns. Dabei hat die extremsten Werte die Kurve "Feucht". Für alle drei Versuchspersonen zeigt sie die größten und niedrigsten Werte. Für VP1 in T1 0,93 und in T5 0,84, für VP2 0,95 in T2 und 0,80 in T5, und für VP3 in T3 0,98 und in T5 0,84. Für VP1 liegen innerhalb der einzelnen

Turns die Werte sehr eng beieinander. In T2 sind sie alle 0,90, in T3 sind sie 0,89 und 0,90. Lediglich in T1 und T5 streuen die Werte von 0,90 bis 0,93, und 0,84 bis 0,88. Ähnlich geringe Streuung gibt es bei VP2 und 3 nur in T4 mit 0,87 und 0,89, sowie in T1 mit 0,86 und 0,89, und für VP3 in T2 und 4 (0,91 - 0,93 und 0,87 - 0,90). Große Streuung findet sich bei VP2 in T2 und 5 (0,88 - 0,95 und 0,80 - 0,88), sowie bei VP3 in T1 und 3 (0,88 - 0,95 und 0,91 - 0,98). In den meisten Fällen wird eine allzu große Streuung innerhalb eines Turns von den Werten der Teilkurve "Feucht" verursacht. Die Werte von "ohne Klimareiz" und "Trocken" dagegen gehen überwiegend parallel. Die größte Übereinkunft findet sich bei VP1, wo die Werte nie mehr als 0,01 auseinandergehen. VP2 und 3 zeigen bezüglich "Trocken" und "ohne Reiz" fast identisches Kurvenverhalten. Von 1 - 3 ist der T-Wert größer, dann überschneiden sich die Kurven, und "Trocken" liegt unter dem Wert "ohne Klimareiz". Auch ihre Differenz übersteigt lediglich einmal den Wert von 0,01 - 0,02. Es ist T1 von VP3, wo die Differenz mit 0,89 für "ohne Reiz" und 0,95 für "Trocken" relativ hoch ist.

Vom Beginn eines Versuchstags in T2 gesehen, steigen die Werte im Durchschnitt (wie unter 4.3.1.) geringfügig an, um dann nach T4 und T5 wieder zu fallen. T1 zeigt die gleichen uneinheitlichen Werte wie in 4.3.1. VP1 hat hohe Werte (0,90 - 0,93), VP2 mittlere (0,86 - 0,89) und VP3 mittlere bzw. hohe Werte (0,88 - 0,95).

VP1	T1	T2	T3	T4	T5
Feucht	0,93	0,90	0,89	0,89	0,84
Trocken	0,90	0,90	0,91	0,90	0,87
ohne Reiz	0,91	0,90	0,90	0,90	0,88
Summe	0,91	0,90	0,90	0,90	0,87

VP2	T1	T2	T3	T4	T5
Feucht	0,87	0,95	0,88	0,89	0,80
Trocken	0,89	0,91	0,91	0,87	0,85
ohne Reiz	0,86	0,88	0,89	0,88	0,88
Summe	0,87	0,89	0,89	0,88	0,87
VP3					
Feucht	0,88	0,93	0,98	0,90	0,84
Trocken	0,95	0,93	0,92	0,87	0,87
ohne Reiz	0,89	0,91	0,91	0,88	0,89
Summe	0,90	0,91	0,92	0,88	0,88

Tab. 2: Der RQ nach Feuchtreizen (rel. Luftfeuchte)

5. DISKUSSION

5.1. Der Sauerstoffverbrauch

Die Untersuchung über das Verhalten der O_2 Aufnahme unter bestimmten Klimabedingungen hat bereits einige zweifelsfreie Ergebnisse erbracht, auf die auch in unserem Fall aufgebaut werden kann. So besteht kein Zweifel, daß es einen Tagesgang für die O_2 Aufnahme bzw. den O_2 Verbrauch bei normalem Tagesablauf gibt. Den Grundumsatz betreffend sieht REICHEL (63) ein Stoffwechselminimum um 4.00 - 6.00 Früh und ein Maximum am Spätnachmittag (Höhepunkte der vagotonen und sympathikotonen Grundstimmungslage). Diese Aussage gilt es mit unseren Ergebnissen zu vergleichen. Von THAUER und WEZLER (80) stammen verläßliche Untersuchungen über den O_2 Verbrauch bei niedrigen (5^o - 20^o C) und hohen (35^o - 50^o C) Temperaturen, sowie den zusätzlichen Einfluß hoher relativer Luftfeuchtigkeiten (70 und 90 %) bei hohen Temperaturen. In den drei hier aufgeführten Klimareizbereichen kommt es in jedem Fall zu einer O_2 Verbrauchsteigerung, was auch theoretisch naheliegt. Bei niedrigen Temperaturen braucht der Körper Energien und damit O_2, um die Körpertemperatur aufrecht zu erhalten bzw. den Temperaturverlust auszugleichen. Der O_2 Verbrauch steigt. Im hohen Temperaturbereich steigt die Körpertemperatur, was einerseits auch den Energieumsatz steigert, andererseits den Körper zur Entwärmung und Temperaturerniedrigung veranlaßt. Beides sind energieverbrauchende Prozesse. Kommt zusätzlich die Belastung einer hohen Luftfeuchte hinzu, so wird die "Entwärmung", die der Körper zum größten Teil durch Schwitzen (Verdunstungskälte) und über die Atmung tätigt, erschwert, weil die Wasseraufnahme in gesättigter Luft schwieriger ist und noch mehr Energie erfordert. THAUER schreibt: "... der Sauerstoffverbrauch wird auf ein höheres Niveau eingestellt ...". Von THAUER wurde neben der Indifferenztemperatur zwi-

schen 20^{o} und 28^{o} C auch der Bereich um 30^{o} C Außentemperatur untersucht. Hier tritt eine Erniedrigung des O_2 Verbrauchs ein, die aber je nach Versuchsperson schon bei niedrigeren oder erst bei höheren Temperaturen auftritt. Eine Erklärung dafür bietet der naheliegende Gedanke, daß bei angenehmer, warmer Umgebungstemperatur insgesamt weniger Energie gebraucht wird, um eine konstante Kerntemperatur zu halten. Da sich die Versuche mit dem direkten Reagieren auf Klimareize beschäftigen, kann auf unsere Fragestellung, inwieweit ein einstündiger Klimareiz eine gewisse Nachwirkung zeitigt, keine Antwort erwartet werden. Hilfreiche Hinweise finden sich bei BECKER und STRÖDER (7), die einige Arbeiten zitieren, in denen von einer ausgeprägten vagalen Reaktion auf Klimareize (z. B. Wetterfronten) die Rede ist, und der eine sympathikotone Reaktion nach Stunden folgt. Die Versuchsbedingungen, die zu diesen Ergebnissen führten, entsprechen in etwa unseren Ruhebedingungen.

Die erste Aussage, die von einem Tagesgang des O_2 Verbrauchs spricht, kann bestätigt werden. Dabei zeigt der Vergleich des O_2 Verbrauchs der einzelnen Tage ein so verwirrendes Bild, daß eine allgemein gültige Aussage nur über den Vergleich mit den Durchschnittswerten der einzelnen Turns insgesamt und unter gleichen Wetterbedingungen möglich erscheint. Es handelt sich dabei um echte Schwankungen vorwiegend des Atemminutenvolumens. Die 3 VPs haben ähnliche Tagesgänge ihres durchschnittlichen O_2 Verbrauchs. Am Morgen ist er am niedrigsten, erfährt am Vormittag eine ca. 12 - 20 %ige Erhöhung des Verbrauchs, die VP1 bis abends, und VP2 in T3 und T5 beibehält, wohingegen VP3 von T3 bis T5 wieder niedrigere Werte aufweist. Die Frage, warum VP3 einen höheren T1-Wert bzw. eine kleinere Steigerung zwischen T1 und T2 aufweist, kann vielleicht mit dem Hinweis auf die Zeit der Atemgasanalysen beantwortet werden. Wie aus Fig. 7 (S. 39) hervorgeht, liegt

der Zeitpunkt der O_2 Messung von VP3 eine halbe Stunde später als bei VP1. Da ein Anstieg des O_2 Verbrauchs in T2 erfolgte, was bei der allmählichen Aktivierung des Organismus nur folgerichtig ist, hatte VP3 länger Zeit, den nach REICHEL-BLEICHERT (63) niedrigsten O_2 Verbrauch zwischen 4.00 - 6.00 Uhr zu verlassen. Umgekehrt kann ich allerdings kein nachmittägliches O_2-Verbrauchsmaximum, das unter Grundumsatzbedingungen nach REICHEL vorliegt, nachweisen.

Für die Diskussion der durchschnittlichen O_2 Werte aus allen Registrierungen eines Tages, die wieder auf den Verbrauch pro Minute zurückgerechnet wurden (Abb. 2, S. 91), könnte nach den Forschungsergebnissen verschiedenes erwartet werden. Zum einen besteht eine O_2 Verbrauchssteigerung für niedrige Temperaturen (die Klimareize "Kühl" liegen unter 20° C) und zum anderen für hohe Temperaturen (um 30° C) eine Verbrauchserniedrigung, die aber z. T. durch gleichzeitige Feuchtigkeitsreize wieder erhöht wird (76). Schon ein erster Blick zeigt, daß keine einheitliche Entwicklung aller 3 Kurven festzustellen ist. Davon ausgenommen sind die Anfangswerte aller, und die Schlußwerte von VP1 und 3. Sie liegen weit unter den sonst üblichen Werten, was m. E. als direkter Ausdruck von Versuchsbeginn und -ende zu werten ist.

Zunächst möchte ich die Schwankungen der Kurvenverläufe mit den Klimareizen vergleichen. Gleiche Klimareize finden im Kurvenbild meist kein Äquivalent. Am 9. und 15. Tag haben wir KT-Kombinationsreize, die einmal mit geringer Minderung und einmal mit geringer Vermehrung der O_2 Werte der 3 VPs beantwortet wird. Die Fortführung des Reizes KT an Tag 16 und 17 wird von VP1 und 3 mit langsamer Steigerung, und von VP2 mit einem Sturz um 30 % und einem Wiederanstieg um 15 % beantwortet. Ein Kühlreiz am 25. Vt hat nur geringfügige und uneinheitliche Änderungen der Werte zur Folge. Ähnlich verhält es

sich mit den Warmreizen an Tag 13, 22, 23 und 28. Während am 13. Tag nur VP3 eine Änderung zum Vortag aufweist (10 % niedriger), stiegen die Werte an Tag 22 von VP2 und 3, wohingegen VP1 abnimmt. Vt 23 und 28 bringt bei VP1 und 2 steigende und VP3 gleichbleibende Werte. Auf den gleichen Warmreiz gibt es bei VP1 zwei steigende und einen gleichbleibenden Wert. Bei VP3 ist das Verhältnis 1:2:1. Es fällt auf, daß sich die beschriebenen Kurvenveränderungen an W-Reiztagen immer auf die Mittellinie zu bewegen. Extrem hohe oder niedrige Werte kommen nicht vor. Feucht- und Trockenreize kommen in dieser Übersicht nur zusammen mit Warm- bzw. Kaltreizen vor, und können nicht gesondert verfolgt werden.

Es gelingt in keinem Fall ein gemeinsames Kurvenverhalten aller drei VPs oder nur zwei von ihnen auf gleiche Klimareize zu finden. Auch der Gedanke, daß Reize mehrere Tage nachwirken könnten, und somit sich gegenseitig stören, entbehrt der Grundlage, denn an Tagen ohne Klimareize kann ebensowenig ein gemeinsames Nachwirken (s. Fig. 5: Tag 10 und 11, 14, 26 und 27), wie ein ruhiger Kurvenverlauf nachgewiesen werden (s. Tag 4 bis 8 und 18 bis 21). Auf Kühlreize, die an fünf Tagen vorherrschen, kommt es siebenmal zu einem Kurvenanstieg, fünfmal zu keiner nennenswerten Verschiebung (Differenz 0,01 l/min), und dreimal werden die O_2 Verbrauche kleiner, z. T. aber beträchtlich (Tag 16, VP2). Nach den vier Warmreiztagen ist das Ergebnis 6:4:2. Dies scheint ein Votum für die Erhöhung der O_2 Aufnahme nach beiden Reizen zu rechtfertigen. Ich möchte aber dennoch die Frage des Einflusses verneinen, denn diese einfache Addition des Kurvenverhaltens berücksichtigt nicht die Höhe des O_2 Wertes am Vortag des Reizes, und sagt auch nichts über die Kurvenschwankungen insgesamt aus. Zufällige Anstiege und Abfälle der Kurve ohne vorherigen Klimareiz liegen nämlich größtenteils über denen nach Klimareizen. Der Gedanke liegt nahe, daß ein einstündiger

Reiz, wenn überhaupt, nicht auf die 5 Werte eines ganzen Tages Einfluß nimmt, sondern nur auf einen oder zwei, und damit eine Steigerung oder Erniedrigung der O_2 Werte auf den ganzen Tag umgerechnet, gar nicht vorkommt.

Auf eine gesonderte Betrachtung über den Einfluß der relativen Luftfeuchte muß verzichtet werden, denn sowohl für "Feucht", wie für "Trocken" besteht nur je ein Tag, an dem der Reiz gesondert vorkommt und nicht mit Warm- oder Kühlreizen zusammenfällt. Das Ergebnis, das einen einheitlichen Einfluß des einstündigen Klimareizes am Morgen auf den ganzen Tag unwahrscheinlich erscheinen läßt, entspricht im großen und ganzen auch dem erwarteten. Ausschließen kann man dieses Nachwirken des Reizes allerdings mit unserem Versuchsaufbau nicht. Größere Aussagekraft bietet die genauere Untersuchung, die alle jene Turnmessungen zusammenfaßt, denen ein gleichartiger Temperatur- und Luftfeuchtereiz vorausgegangen ist, also unabhängig, ob die Turns am Anfang oder Ende des Versuchs gelegen sind (Abb. 3 bis 11). Diese Möglichkeit scheint mir auch deshalb erlaubt, weil die gemessenen Werte vom Beginn bis zum Ende des Gesamtversuchs keine Tendenz zum Ansteigen oder Abfallen zeigen. CUENOT (15) hatte bei seinen saisonalen Betrachtungen eine Stoffwechselerhöhung diskutiert, die im Frühjahr temperaturunabhängig auftritt und nicht erklärt werden kann. Allerdings weist CUENOT darauf hin, daß sie in Laboratorien nicht reproduzierbar war. Dies trifft, sofern wir jahreszeitliche Parallelen annehmen, auch für unseren Versuch zu.

Als nächstes möchte ich die Frage aufwerfen, ob der nach dem 5. Turn gesetzte 2. Klimareiz Auswirkungen auf den 13 Stunden später folgenden Turn 1 hat. Im Vergleich zu den zusammengefaßten Werten ohne - am Vortage vorangegangenen - Klimareiz zeigt zehnmal keine oder nur minimale Änderungen und achtmal Abweichungen der Werte. Da diese acht Veränderungen einen

möglichen Einfluß beinhalten können, seien sie noch genauer angesehen. Der O_2 Verbrauch von VP1 wird in T1 nach der relativen Feuchte, sowohl bei Trocken- wie bei Feuchtreiz größer. Bei VP2 und 3 zeigen die Trockenreize (relativ und absolut trocken) Abnahmen des O_2 Verbrauchs. Darüberhinaus hat VP2 nach K-reiz, und VP1 nach W-reiz eine Erniedrigung der Werte. Ob man aus diesem Ergebnis auf eine Beeinflussung schließen kann, möchte ich bezweifeln, doch könnte auch folgender Weg zutreffen: Für manche Versuchspersonen könnte ein Trockenreiz am Abend zu einer Verstärkung der vagalen Phase nachts führen, der sich morgens durch erniedrigte O_2 Aufnahme zeigt. Diesem Gedanken muß man entgegenhalten, daß die Trockenreize im Versuch mit Werten um 50 rel. % und 10 g/m^3 keine extremen Werte darstellen (s. WEZLER und THAUER (80)) und der absolute Feuchtegehalt der Luft in der Nacht physiologischerweise eher zurückgeht; eine trockenere Atemluft also eher dem Normalzustand entspricht. U. a. schreibt RADDATZ (61), daß für den Menschen eine paradoxe Wettersituation, z. B. Wärme am Morgen und kühle Temperaturen am Mittag eher einen ungünstigen Klimareiz darstellen. Verstärkt sich dagegen ein normaler Tagesrhythmus z. B. durch hohe Mittagstemperaturen, so wird dies vom Menschen positiv empfunden.

Nach Turn 1 kommt an bestimmten Tagen ein Klimareiz, der sich auf zeitlich näherliegende Turns auswirken kann. Es sind dies Turn 2 nach 1 Stunde, Turn 3 nach 4 Stunden, Turn 4 nach 6 Stunden und Turn 5 nach durchschnittlich 8 1/2 Stunden. Betrachtet man das Ergebnis der Messungen für VP1 (Abb. 3 - 5, S. 92) unvoreingenommen, so fällt ins Auge, daß die Teilkurven nach Kühl- und Warmreiz (bzw. Feucht und Trocken) nahezu gleiche Kurvenverläufe zeigen (ebenso die Kurve "mit Reiz") und sich deutlich von den Teilkurven abheben, die ohne klimatische Beeinflussung gewonnen wurden. Diese Beobachtung sieht keinen Unterschied zwischen der Art der Reize. Das steht im

Widerspruch zu den meisten Untersuchungen (Kap. 2.3. und 2.4.), die bemüht waren, gerade die einzelnen Komponenten des Wetters in ihrer Wirkung gegeneinander abzugrenzen. Allerdings wurden die O_2 Messungen, wie z. B. bei WEZLER und THAUER (80, 81) immer während der Exposition, und nicht wie bei uns z. T. mehrere Stunden danach gemacht. Zunächst zu Turn 2. Beim einfachen Auszählen der Veränderungen gegenüber T2 "ohne Reiz" bei allen VPs, ergeben sich achtmal erniedrigte, und je fünfmal nahezu gleichbleibende und erhöhte T2 Sauerstoffwerte. Berücksichtigt man aber, daß die Werte, aus denen sich die Kurven der absoluten Feuchtigkeit zusammensetzen mit nur wenigen Ausnahmen die gleichen sind, die auch die Temperaturkurven bilden, und läßt die Kurven der absoluten Luftfeuchte aus dieser Zählung heraus, so stehen neben sieben Werterniedrigungen drei gleiche und zwei erhöhte O_2 Werte für Turn 2. Noch eindeutiger erscheint das Ergebnis, wenn man für Temperaturen und relative Luftfeuchte alle Werte mit Klimareiz (W und K, sowie T und F) den Werten ohne Klimareiz entgegenstellt. Dies impliziert zwar, daß ein W-reiz so behandelt wird wie ein K-reiz, und ein F-reiz wie ein T-reiz, doch macht diese Sicht auch die allzu kleinen Zahlen einzelner Reize, z. B. des Feuchtreizes wett. Dabei resultiert viermal eine Werterniedrigung, eine Steigerung und ein gleichbleibender Wert. Ein auf den ersten Blick besseres Ergebnis bietet Turn 3. Zehn Wertsteigerungen stehen vier gleichbleibende und vier Erniedrigungen gegenüber. Dieses klare Ergebnis gilt allerdings nur für VP1. In jedem Fall steigt nach Klimareiz der T2-Wert. Bei VP2 und 3 dagegen sind die Ergebnisse uneinheitlich. Es gibt genauso viele erhöhte wie gleichbleibende und erniedrigte Werte. Auch ihre Verteilung auf die Klimareize ist regellos. So muß wohl differenziert werden zwischen VP1, wo ein Klimareiz in jedem Fall zu einer Steigerung des O_2 Verbrauchs in T3 führte, und den VPs 2 und 3, die keine einheitliche Reaktion auf die verschiede-

nen Reize zeigen. Fasse ich die Reize der drei Meßgrößen zusammen, so zeigt VP2 eher steigende O_2 Werte und VP3 gleichbleibende Werte nach den Klimareizen. Dieses verwirrende Bild setzt sich auch für T4 und T5 fort. Die Aufzählung der einzelnen Erhöhungen und Erniedrigungen scheint mir nicht angebracht, da zu unübersichtlich. Vereinfache ich das Ergebnis, indem ich in den Abbildungen Temperaturen und relative Luftfeuchte (Begründung s. o.) nur die zusammengefaßten Werte nach Klimareizen, denen ohne Klimareize gegenüberstelle, so ergibt sich für jede Versuchsperson in T4 einmal ein eher gleichbleibender und ein erhöhter Wert. In ihrer Summe also eine leichte Erhöhung der O_2 Werte nach Klimareizen. In T5 überwiegt die Zahl der nicht erhöhten Werte, was in der Tendenz besagt, daß der Klimareiz sich wohl nicht mehr in einer Erhöhung oder Erniedrigung der O_2 Verbrauchswerte niederschlägt.

	T 2	T 3	T 4	T 5
VP1	→ ↓ →	↑ ↑ ↑	→ → →	→ → →
VP2	↓ ↓ ↓	→ → →	↑ ↑ ↑	→ → →
VP3	↓ ↓ ↑	↑ ↑ →	↑ ↑ ↑	→ → →

Tab. 3 Entwicklung des O_2 Verbrauchs nach morgendlichen Klimareizen (Abb. 3 - 11) gegenüber den O_2 Verbrauchswerten ohne Klimareiz. 1. Pfeil = nach Temperaturreiz; 2. Pfeil = nach Feuchtereiz (rel. Feuchte); 3. Pfeil = nach Feuchtereiz (absol. Feuchteskala); ↑ 5 - 10 % ↑ > 10 %

Zusammenfassend könnte man sagen (Tab. 3), daß nur VP1 ein klar beschreibbares Ergebnis auf Klimareize zeigt. Die Werte zeigen 1 Stunde nach Klimareiz in ihrer Gesamtheit eine Tendenz zum Fallen, steigen in T3 klar an, behalten diese Steigerung auch in T4 noch angedeutet bei und sind in T5 im wesentlichen wieder gleich den Werten ohne Klimareiz. VP2 und 3 zeigen ähnliche Kurvenentwicklungen, allerdings weniger ausgeprägt, insbesondere in T2 und 3 weniger deutlich. VP2 zeigt in T3 sogar eher gleichbleibende Tendenz gegenüber der sonst erfolgten Steigerung. An dieser Stelle möchte ich nochmals betonen, daß die Auswertung des Sauerstoffverbrauchs nach Klimareizen zweifelsfreie Ergebnisse vermissen läßt, dennoch will ich versuchen, die oben beschriebenen Ergebnisse mit bereits bestehenden Untersuchungsergebnissen zu vergleichen. Dabei kann die Erniedrigung der Werte in T2 durch eine stärkere Tropotrophie erreicht werden, die folgende Erhöhung durch eine Ergotropie. Zu dem selben Ergebnis kommen u. a. auch BECKER und STRAUBE (79), die in ihren Klimareizuntersuchungen, ebenfalls regelmäßig, zunächst eine Erhöhung des Vagotonus und Stunden später (!) einen erhöhten Sympathikotonus erhielten. "Der bis dahin angenommene Wirkungsunterschied zwischen Warm- und Kaltfront konnte somit nicht bestätigt werden" (5). Im Widerspruch dazu steht die Meinung HOFF's (35, 36), der für gleiche Zeiträume zuerst ein Anspringen des Sympathikus und dann eine vagotone Nachphase postuliert. Eine Erniedrigung der Werte im Sinne eines Vagotonus gleich nach dem Klimareiz kennt zwar auch er, führt sie aber auf schockartige Reize oder eine trophotrope Reaktionslage zurück. Dies wiederum könnte natürlich auch bei unseren Versuchspersonen der Fall gewesen sein. Insgesamt ist nun aber auch erklärlich, warum sich Klimareize, insbesondere nach Turn 1 nicht deutlich an einem auf alle 5 Versuchsturns gemittelten Wert ablesen lassen (Abb. 2).

5.2. Der Kohlendioxydverbrauch

Nach den Angaben von ASSMANN (4) wäre zu erwarten, daß die CO_2 Konzentration sich auch unter veränderten Außenbedingungen nicht wesentlich ändert, und die CO_2 Abgabe sich mehr als Funktion des AMV darstellt. Dazu kommt, daß die unter Ruhebedingungen gemachten Messungen zu einer gleichmäßigen CO_2 Abgabe beitragen müßten. Schon die erste Betrachtung der Schwankungsbreiten der CO_2 Konzentrationen und der CO_2 Abgabe, gemessen als Durchschnittswert der fünf Tagesmessungen zeigt (Abb. 13), daß dies in unserem Versuch nicht der Fall ist. Die CO_2 Konzentrationen von VP1 und 3 liegen zwischen 3,45 und 4,6 %, von VP2 zwischen 3,6 und 4,45 %. Somit geht also auch die Konzentration der ausgeatmeten Luft in nennenswerter Weise in die CO_2 Turn- und Tageswerte ein. Die niedrigen Werte aller drei VPs am Anfang und Ende der Versuchszeit mögen andere Ursachen haben. Wahrscheinlich war an Tag 3, vielleicht auch 4 die notwendige Eingewöhnungszeit noch nicht verstrichen. Die niedrigen Werte an Tag 29 von VP1 und 3 werden sicherlich durch das nahe Ende des Versuchs mit seiner zwangsläufigen Isolierung bedingt sein. Die im Verlauf der Kurve auftretenden Schwankungen der Werte von Tag zu Tag lassen sich kaum auf äußere Faktoren zurückführen. Betrachtet man die Versuchsergebnisse aus dem Blickwinkel der Reaktionen auf die eingestellten Klimareize zwischen T1 und T2, sowie nach T5, so ergibt sich ein verwirrendes Bild. Die Kurvenverläufe lassen auf den ersten Blick keine Gemeinsamkeiten erkennen. Wohl aber gelingt es, Übereinstimmungen von zwei der drei VPs zu finden. So haben VP2 und 3 von Tag 6 bis 12 waagrechte Kurvenverläufe mit geringen Summenwertschwankungen ($<$ 10 % Unterschied zum Nachbarwert). Dieselbe Übereinstimmung findet sich bei VP1 und 2 zwischen dem 12. und 15. Versuchstag, und VP1 und 3 zwischen dem 18. und 23. Vt.

Gemeinsam herausragende Tageswertzu- oder -abnahmen gibt es in dieser Darstellung nicht. Eine gewisse Übereinstimmung der Kurvenverläufe finden wir zwischen dem 15. und 17. Vt, an denen als Klimareize Kühl (K) und Trocken (T) herrschte. Ähnliches ist an Vt 24 und 25, sowie Vt 8 und 9 zu beobachten. Die Tageswerte steigen kontinuierlich an, wenn gleich geringfügig, und bei VP2 zweimal eingeleitet durch einen Abfall der Werte. Vergleiche zwischen Reizkomponenten Warm (W) und Feucht (F) und den CO_2 Verbrauchskurven zeigen ein uneinheitliches Bild. Der Komponente W an Tag 12 und 13 steht nur eine Änderung bei VP3 gegenüber. Der Wert sinkt. An Tag 23 steigt der Wert bei VP1 und 2, wohingegen VP3 keine Änderung zeigt, und am Vt 28 schließlich sinken die Werte bei VP1 und 3 bei gleicher Reizkomponente. An Tagen ohne Reizklima ist ebenfalls kein gleichsinniges Reagieren der drei Kurven abzulesen. Dies gilt für alle Zeiten zwischen dem 3. und 8. Vt, 10., 11., 19. und 21., und dem 26. und 27. Vt. Die dazugehörigen Kurvenabschnitte haben sowohl leicht steigende wie fallende Tendenzen, sowie Abschnitte mit Anstieg und Abfall der klimareizfreien Zeit. Auch von einer Überlagerung durch benachbarte Klimareize kann nicht die Rede sein, denn in Strecken mit nahezu gleichen Werten, wie z. B. VP1 zwischen dem 10. und 15. Tag, und VP3 zwischen dem 5. und 11. Tag liegen ausgeprägte Klimareize mit Warm und Feucht, sowie Kühl und Trocken (Fig. 5 und Abb. 13).

Auf Kühlreize steigen die Kurven insgesamt siebenmal an, fünfmal tritt nahezu keine Änderung ein, und dreimal sinken die Werte zum Teil beträchtlich (bis 30 %). Nach Warmreizen ist das Verhältnis 4:4:4. Trotz des scheinbar eindeutigen Ergebnisses zugunsten eines Mehrverbrauchs nach Kühlreiz (was bei einem Energiemehrverbrauch ja vorstellbar wäre), möchte ich vor zu schneller Beurteilung warnen - gleiches gilt auch für die Feucht- und Trockenreize - denn dieser einfache Zah-

lenvergleich berücksichtigt nicht die Ausgangslage der Kurve vor dem Klimareiz. Ein Einwirken von zwei Kühlreizen an aufeinanderfolgenden Tagen, z. B. 15 und 16 bewirkt bei VP2 zuerst einen Abfall der Messungen um 30 %, dann einen Wiederanstieg um 16 %; per Saldo nimmt die CO_2 Menge aber ab. Wie schon bei der Beurteilung der Reaktion des O_2 Verbrauchs auf Klimareize, muß man auch einen Einfluß auf das Tagesmittel der CO_2 Abgabe, wie es in Abb. 13 dargestellt ist, verneinen. Dieses Ergebnis scheint in Widerspruch zu Versuchen von THAUER (80), KITZING (40), SHVARTZ (76), sowie TROMP (83) zu stehen, die alle eine Erhöhung auch der CO_2 Abgabe in kühler, heißer sowie feuchter Umgebung erhielten. Der grundlegende Unterschied lag in unserem Fall allerdings darin, daß zu Zeiten der Messungen bereits wieder indifferente Klimabedingungen herrschten.

Die von OPPENHEIMER (56) vertretene Meinung, daß es auch einen Tagesgang für die CO_2 Ruhewerte gibt, kann bestätigt werden. Für die drei VPs gibt es Tagesgänge, die sich insgesamt recht ähnlich sind. Am Morgen ist die gemessene CO_2 Menge in jedem Fall am kleinsten. Es folgt ein Anstieg um 15 - 25 %, dann folgt bis zum Abend wieder ein Rückgang der Werte um 5 - 8 %. Für die drei VPs gibt es also trotz der unterschiedlichen Gesamtmengen ähnliche CO_2 Tagesgänge mit individuellen Unterschieden.

An dieser Stelle scheint eine kurze Rekapitulation der Gesamtzusammenhänge angebracht. In den meisten Klimauntersuchungen wurde während des Klimareizes oder kurz danach seine Auswirkung gemessen. Hier soll aber der Versuch unternommen werden, die eventuellen Nachwirkungen eines Klimareizes (s. Fig. 6) herauszufinden. In den Gesamt- und Teilkurven kann fast durchweg ein Tagesgang auch für die CO_2 Abgabe herausgelesen werden (s. o.). In den Teilkurven muß aber bei der In-

terpretation darauf geachtet werden, aus wievielen Einzelwerten sich ein Turnwert zusammensetzt. Schwierigkeiten bereitet z. B. die Interpretation der Teilkurven "Feucht" aus der Zusammenstellung nach der relativen Luftfeuchte, denn hier setzt sich der T1-Wert aus drei, und die T2 - T5-Werte gar nur aus 2 Werten zusammen. Es scheint mir auch unangemessen selbst Teilergebnisse, die sich aus vier oder fünf Einzelwerten zusammensetzen zu interpretieren, wenn sie nur selten auftauchen.

Als nächstes möchte ich der Frage nachgehen, ob der Abendreiz, der nach dem 5. Turn gesetzt wurde, eine Auswirkung auf den Turn 1 13 Stunden später hat. Dazu sei erwähnt, daß die T1-Werte in den Teilkurven W, K, F und T (insgesamt 18) je viermal kleiner und größer, und zehnmal etwa gleich groß sind. Als größer oder kleiner möchte ich die Werte bezeichnen, die mindestens 10 ml/min Unterschied zum Wert "ohne Klimareiz" aufweisen. Ein nachhaltiger Einfluß kann wohl als unwahrscheinlich angesehen werden. Dabei kann aber auch die Frage, ob z. B. eine Person eine Erniedrigung, eine andere eine Erhöhung nach dem selben Klimareiz aufweist, nicht beantwortet werden. Wahrscheinlich ist es nicht, denn eine Nachwirkung eines einstündigen Klimareizes dürfte, besonders wenn man an den starken vagalen Nachteinfluß denkt, kaum so lange dauern. Die größte Wahrscheinlichkeit der Beeinflussung dagegen dürfte bei T2 und T3, also eine Stunde und vier Stunden nach dem Klimareiz zu finden sein. In der Tat scheint es diesen Einfluß zu geben. Betrachtet man die T2- und T3-Ergebnisse, so fällt auf, daß die T2-Werte aus den Teilkurven mit Klimareiz überwiegend niedriger liegen, die T3-Werte überwiegend höher. Besonders deutlich fällt dieses Ergebnis in beiden Fällen bei VP1 ins Auge. Je elfmal wird der Wert insgesamt kleiner bzw. größer. In den restlichen sieben Werten (größer, kleiner oder gleich) kommt zum Ausdruck, daß vor al-

lem nach W- und F-reizen (fünfmal) diese Aussage, bezogen auf VP2 und 3 eingeschränkt werden muß. Ob dies personen- oder reizspezifische Gründe hat, kann nicht erörtert werden. VP2 und 3 reagieren in diesen Untersuchungen, also nach 1 Stunde, nicht so häufig mit Werterniedrigungen, und auch nach vier Stunden nicht so häufig mit Erhöhungen. Ich muß auch an dieser Stelle nochmals betonen, daß die Kurven, vor allem für "relativ feucht", wegen der geringen Werte nicht als zuverlässig angesehen werden können. Der Übersichtlichkeit wegen müssen sie aber so betrachtet werden wie die anderen Kurven (z. B. relativ und absolut Trocken oder Kühl). In der Teilzeichnung "mit Reiz", wo Kühl- und Warmreize einerseits, und Feucht- und Trockenreize andererseits zusammengezählt wurden, kommt dies allerdings wieder deutlicher zum Vorschein. Hier nivellieren sich einerseits zwar die Kurvenwerte, aber andererseits auch die zu geringe Zahl mancher Teilkurven. Die Aussage wird aber untermauert.

Für T4 kann aus der Auszählung der Ergebnisse angenommen werden, daß ein Einfluß eines Klimareizes, wie er für T2 und 3 naheliegt, nicht mehr in gleicher Weise vorhanden ist. Elfmal liegen die Werte in der Nähe der T4-Werte ohne Klimareiz; je fünfmal darüber und zweimal darunter. Wie schon in der Kurvenbeschreibung möchte ich hier nochmals auf einen Wert aus den Rohdaten eingehen, der den T4-Wert der VP3 falsch beeinflußt. Der Wert ist als "Ausreißer" etwa ein Drittel zu groß, und verfälscht den T4 der beiden Teilkurven "Feucht". In der Abbildung Temperaturen fällt er in "ohne Reiz", und beeinflußt das Ergebnis nur noch unwesentlich.

Für T5 fällt ein klares Urteil schwerer. VP1 und 3 zeigen überwiegend keine nennenswerten Unterschiede in den Werten mit und ohne Klimareiz. Zwei Zu- und Abnahmen stehen etwa acht gleichen Ergebnissen gegenüber. VP2 zeigt allerdings nur

in einem Fall etwa gleich große, sonst (fünfmal) Wertminderungen. Eine Erklärung hierfür kann ich nicht geben. Offensichtliche Ausreißer liegen nicht vor. Ein eventuelles weiteres Nachwirken des Klimareizes scheint mir auch nicht wahrscheinlich, denn in T4 war bei VP2 bereits keine wesentliche direkte Beeinflussung mehr erkennbar.

	T 2	T 3	T 4	T 5
VP 1	↓ ↓ ↓	↑ ↑ ↑	→ ↑ →	→ → ↓
VP 2	→ ↓ →	→ → →	→ ↑ →	↓ → ↓
VP 3	↓ ↓ →	↑ ↑ ↑	→ ↑ ↑	→ → ↓

Tab. 4 Entwicklung der CO_2 Abgabe nach morgendlichen Klimareizen ("mit Reiz" in Abb. 14 - 22) gegenüber den CO_2 Abgabewerten ohne Klimareiz. 1. Pfeil = nach Temperaturreiz; 2. Pfeil = nach Feuchtereiz (rel. Feuchte); 3. Pfeil = Feuchtereiz der absoluten Feuchteskala; ↑ 5 - 10 % ↑ > 10 %

Zusammenfassend kann ich sagen, daß sich ein Klimareiz vor allem für VP1 und 3 am deutlichsten auf T2 und 3 auswirkt. Dabei sprechen Zahlen für eine etwa 5 %ige Verminderung der CO_2 Abgabe eine Stunde nach Beendigung des einstündigen Klimareizes, und eine etwa 6 %ige Erhöhung nach 4 Stunden. Für

die den Klimareizen zeitlich später folgenden Turns T4, T5 und T1 kann aus unseren Ergebnissen kein Anhalt einer andauernden Beeinflussung gewonnen werden. Die bis hierher geschilderten Ergebnisse machen deutlich, warum in der Summenbetrachtung der einzelnen Tage aus Abb. 13 keine sichtbaren Folgerungen zu ziehen sind, denn in dieser Abbildung sind die fünf Turnwerte zu einem Mittelwert zusammengefaßt.

Nach DE RUDDER greifen Wetterstörungen am vegetativen Nervensystem an. Dies wurde durch viele Untersuchungen bestätigt (s. Kap. 2.3.). Stellvertretend für andere Untersuchungen seien nochmal die Ergebnisse BECKER's (5) zitiert, der aus seinen pharmako-meteorologischen Untersuchungen mit Kindern schließt: "... in recht konstanter Weise haben sie zunächst mit einer Steigerung des Vagotonus reagiert, dem Stunden später eine Steigerung des Sympathikotonus folgte." Eine Gegenmeinung vertritt HOFF (35), der speziell diese Ergebnisse mit dem Hinweis auf den höheren kindlichen Vagotonus für erklärbar hält. In anderen Untersuchungen (36) spricht er von "vagotoner Vorphase", die "nur bei schweren schockartigen Reizen zustande kommt". Davon sei aber die vegetative Umschaltung auf Reize mit einer sympathischen Reaktion und einer parasympathischen Nachreaktion nicht betroffen.

Meine Ergebnisse finden, mit der nach BECKER zitierten vegetativen Reaktion auf Reize, auch für die CO_2 Abgabe eine gute Erklärung. Das von REICHEL-BLEICHERT (63) beschriebene vegetative Stoffwechselmaximum am Spätnachmittag kann ich mit unserem Versuch nicht bestätigen. Nur scheint mir eine Interpretation der Wetterfühligkeit als Reaktion auf Wetterwechsel erlaubt. Wenn es zutrifft, daß wie HELLPACH (31) und DE RUDDER (71) bereits annahmen, der menschliche Organismus mit dem vegetativen Nervensystem auf Reize, auch auf Klimareize reagiert, so ist eine vermehrte Müdigkeit und anschließend ein "aufgekratzt" sein eine nur allzu logische Folge. Schon

die Versuchspersonen, die uns zur Beurteilung zur Verfügung stehen, machen deutlich, daß eine identische Aussage von Person zu Person oder besser von einer Durchschnittsperson zur nächsten praktisch nicht möglich ist. Es wäre meiner Meinung nach vermessen, unser Ergebnis auch mit den Überlegungen KRETSCHMER's (42) über den Einfluß des Körperbaus auf den Sauerstoffverbrauch bzw. der CO_2 Abgabe korrelieren zu wollen. Wie in Kap. 3.3. besprochen, sich VP1 und VP3 Körperbaumischtypen, für die weder die Aussagen KRETSCHMER's noch BORGARD's (9) in vollem Umfang gelten können. HERTZ (32) fand, daß bei Pyknikern das Maximum einer vegetativen Gegenregulation schnell einsetzt, aber die Wirkung auch verhältnismäßig schnell wieder vorbei ist. Diese Ergebnisse können unter gewissen Voraussetzungen sogar bestätigt werden. Wenn ich VP1 dem pyknischen Körperbau zurechne, und VP3 dem athletischen, so trifft dies für die Sauerstoffaufnahme wie die Kohlendioxydabgabe zu. VP2 mit asthenischem Körperbau, zeigt immerhin für die O_2 Aufnahme die von HERTZ (31) gefundene Reaktion.

5.3. Der respiratorische Quotient (RQ)

Die Berechnungen des RQ wurden, wie die der Größen für O_2 und CO_2, für die gesamte Versuchsdauer von 29 Tagen angefertigt. An jedem Tag wurden pro Person fünf Messungen gemacht. Das bedeutet, daß uns zur Beurteilung ein Tagesgang aus 5 Turns zur Verfügung steht. Wie an früherer Stelle schon erwähnt, habe ich alle unter gleichen Versuchsbedingungen zusammengefaßt, so daß sich für die Gedanken über den Einfluß von Temperatur und Luftfeuchte je drei Teilkurven und eine Summenkurve ergeben.

Der RQ wird nach GANONG (25) vom Wetter beeinflußt; gemeint sind in erster Linie niedrige und hohe Temperaturen, die über den vermehrten Sauerstoffverbrauch auch den RQ beeinflussen. Dies konnte aber nach THAUER (80) nicht bestätigt werden. THAUER ließ unter strengen Grundumsatzbedingungen Temperaturen bis zu 50^{o} C (50 % relative Luftfeuchte) auf vier Versuchspersonen in einer Klimakammer wirken. Er verfolgte die Atemgrößen während des 2 - 3stündigen Versuchs. Da es sich in diesem Versuch ebenfalls um einen Klimakammerversuch handelt, der die Zahlen unter gleichen Versuchsbedingungen zusammenfaßt, scheint von vornherein ein Vergleich mit unseren Ergebnissen angezeigt. Jedoch gehen wir der Frage nach, inwieweit ein Klimareiz die Stunden danach beeinflußt. Dies muß verneint werden. Die errechneten Zahlen liegen in jedem Turn dicht beieinander, was vor allem auf T2 - T4 zutrifft. Ein gewisser Tagesgang, der in der Darstellung der Temperaturen und der relativen Luftfeuchte für alle 3 VPs gilt (Ausnahme T1), ist gut erkennbar. Allerdings wirkt er sich zahlenmäßig nur schwach aus. Der RQ ist in T2 1/2 - 1 Stunde nach dem Frühstück leicht angestiegen. T3 bleibt 1/2 - 1 Stunde nach dem Mittagessen mit durchschnittlich 0,90 gleich groß. T4 und T5 sinken mit einem durchschnittlichen RQ von 0,88 und 0,87

dann etwas. Dieser nur geringe RQ-Unterschied im Durchschnitt aller drei VPs ist durch einen Umstand erklärlich. Um den Versuchstag weniger eintönig zu gestalten, fand auch zwischen T3 und T4, sowie zwischen T4 und T5 eine kleine Zwischenmahlzeit statt. Wenn es sich in einem Fall auch nur um ein kleines Dessert, im anderen Fall um den Nachmittagstee gehandelt hat, so bleibt damit vom Stoffwechsel her gesehen die Situation für jeden Turn gleich. Da nun wiederum die aufgenommene Nahrung den stärksten Einfluß auf den RQ hat, scheint es wiederum wenig verwunderlich, daß nur der T1 Unregelmäßigkeiten zeigt. Er liegt immerhin etwa elf Stunden nach dem Abendessen und folgt damit für jede VP eigenen Gesetzmäßigkeiten, da ja die Wirkung einer Mahlzeit auf den RQ nur etwa 6 Stunden anhält (GANONG).

Etwas auffällig sind die Kurven "Warm", während "Kühl" stärkere Parallelität zur Kurve "ohne Reiz" hat. Da der Verlauf der Teilkurve "Warm" aber regellos die anderen Kurven kreuzt, dürfte es sich um eine zufällige Erscheinung handeln. Die von WEZLER (80) beschriebene "mäßige Erhöhung des RQ bei den extrem hohen Außentemperaturen von 45° und 50° C, die auf eine 'gewisse Hyperventilation' zurückgehen soll", ist bei uns in keinem Fall erreicht. Auch die Frage, ob die tiefen Raumtemperaturen von 18° C den RQ beeinflussen, kann mit dem Hinweis auf die schon erwähnte Parallelität zur Kurve der Werte ohne Klimareiz verneint werden. Dies gilt in gleicher Weise für die Teilkurve "Trocken". Die Kurve "Feucht" von VP2 und VP3 fallen zunächst ins Auge. Es muß allerdings berücksichtigt werden, daß die Anzahl der Einzelwerte, aus denen sich die Kurve von T2 - T5 zusammensetzt mit n = 2 so gering ist, daß eine Beurteilung dadurch nicht möglich erscheint.

Die von RUBNER (70) beschriebene Beobachtung, nach der eine Dusche den RQ stärker steigert als eine Mahlzeit, mußte ungeprüft bleiben. Eine gewisse Nachwirkung der Duschen auf den T2 scheint nicht zu bestehen, kann aber auch nicht sicher ausgeschlossen werden.

5.4. Kritik der Methode

Der Versuch war so konzipiert, daß jeder der drei Versuchsleiter im Turnus für das gesamte Versuchsprogramm verantwortlich war, und in dieser Zeit also auch die Atemgasanalysen machte und registrierte. Ich hielte es für besser, wenn Untersuchungen, wie in unserem Fall die Gasanalysen nur von einer Person gemacht würden, weil damit eine lückenlose Eichung und Wartung möglich wäre. Die Geräte sollten während eines Langzeitversuches nur für diesen einen Versuch verwendet werden. Alle Pannen lassen sich auch unter diesen Bedingungen nicht sicher ausschließen, jedoch dürfte sich unter einer Hand ihre Zahl verringern.

Für eine stichhaltige Aussage über Tagesverläufe, insbesondere über eine mögliche Umschaltung des Vegetativums von einer sympathischen auf eine parasympathische Lage sind fünf Meßdaten pro Versuchstag natürlich viel zu wenig, wobei nicht zu allen Tageszeiten ein, meiner Meinung nach wünschenswerter 1 - 2stündiger Meßrhythmus notwendig wäre. Besondere Aufmerksamkeit sollte den ersten 6 Stunden nach einem Klimareiz gelten. Dies unter anderem auch wegen der Beobachtung, daß die Wetterfühligkeit nach einigen Stunden, insbesondere nach vollzogenem Wetterwechsel wieder nachläßt. Die in Voralpenland häufige meteorologische Erscheinung "Föhn", die zumindest im Sommer zumeist warme bzw. milde und trockene Luftmassen in unser Gebiet verfrachtet, und damit nach unseren Kriterien sicher ein Klimareiz ist, fand in der Konzeption unseres Versuchs auch durch die Leistungsbegrenzung unserer Klimaanlage keinmal Beachtung (vergl. S.36).

Die Klimareize unseres Versuches sind so angelegt, daß sie den natürlichen Wetterschwankungen recht ähnlich sind; das macht die Übertragbarkeit der Ergebnisse leichter. Mir scheint es allerdings, beim bisherigen Stand der Kenntnisse

wichtiger, durch Reproduzierbarkeit sichere Ergebnisse zu erhalten. Dazu gehört, daß beispielsweise die Anzahl der Reize F, T, gleich groß ist wie W und K. Darüberhinaus sollten W und F, sowie K und T in ausreichender Anzahl auch voneinander unabhängig vorkommen. Eine weitere Forderung, die in einem Klimakammerversuch ebenfalls unerfüllbar genannt werden kann, ist der Vergleich mit den Tagen ohne Klimareiz. Es müßten gleich große Zahlenreihen zur Beurteilung vorliegen; es könnte manche Einschränkung in diesem Text dadurch vermieden werden.

Eine weitere Anregung leite ich aus den stark unterschiedlichen Atemminutenvolumen der Versuchspersonen ab. Wir haben bewußt auf Atmung unter Grundumsatzbedingungen verzichtet, und analysierten unter Ruhebedingungen. Dabei scheint es mir nicht ausreichend vor Beginn der Messung fünf Minuten zu ruhen.

Wie in vielen Stellen des Textes verwiesen, gibt es einige Arbeiten, die sowohl dem Körperbau und der Hautfaltendicke als auch der vegetativen Grundstimmungslage vermehrte Aufmerksamkeit schenkten (9, 30, 32, 36, 42, 47, 60). Dabei war es ja zu beachtlichen Ergebnissen gekommen. Ich halte es für gut, wenn durch geeignete Wahl der Versuchspersonen, was z. B. den Körperbau angeht, die Ergebnisse untereinander besser vergleichbar sind. Dabei könnte auch die geringe Zahl der VPs ausgeglichen werden, die für einen Langzeitversuch notwendiger Weise beschränkt werden muß. Auf ein weiteres Problem hat CUENOT (15) aufmerksam gemacht. Er fand aus Messungen (ebenso 6, 78) in der Natur klimabedingte Schwankungen, die im Laboratorium nicht reproduzierbar waren. Dies sollte einmal der Anlaß sein, parallel Versuche unter Laboratoriumsbedingungen und unter natürlichen Klimaschwankungen durchzuführen. Eventuell könnte auch ein Wechsel der VPs während des Versuchs

von Nutzen sein, so daß ein Teil des Gesamtversuchs von jeder VP in der Klimakammer, und ein Teil ohne Klimakammerbedingungen durchgeführt wird. Daraus könnten sich grundlegend neue Aspekte für die weitere Bearbeitung unseres Problems ergeben.

6. ZUSAMMENFASSUNG

1. Ein 29tägiges Versuchsprogramm im Bioklimaraum des Institutes für med. Balneologie und Klimatologie sollte Zusammenhänge zwischen den biotropen Wirkgrößen Temperatur und Luftfeuchtigkeit, und den physiologischen Reaktionen des Organismus aufhellen helfen.

2. In der Klimakammer absolvierten drei VPs ein täglich identisches Programm aus fünf gleichen Versuchsabläufen (Turns). Klimareize, in Form 1-stündiger Milieuänderungen bei sonst gleichbleibenden thermohygrischen Bedingungen, wurden während der Morgen- und Abendmahlzeit gesetzt, wo die VPs die Klimakammer für je eine Stunde verlassen haben.

3. Als Teil des Gesamtprogramms wurde die Auswirkung der Klimareize auf den Lungengasstoffwechsel untersucht. Die Beobachtungen galten den Meßgrößen O_2, CO_2, Atemminutenvolumen und dem RQ. Die Registrierungen wurden fünf mal am Tag zu jeweils gleichen Zeiten gemacht. Die Rohdaten wurden mit einem H & B Grundumsatzgerät und einem Servomex O_2 Meßgerät gewonnen, und zu O_2-Aufnahme-, CO_2-Abgabewerten pro Minute sowie dem RQ umgerechnet.

4. Eine Tagesperiodik, T1 T2...T5, konnte aus den Mittelwerten jedes Versuchsturns für die aufgenommene Sauerstoffmenge bestätigt und für die abgegebene Kohlendioxydmenge gefunden werden. Die Tagesgänge beider Größen gleichen sich.

5. Im Tagesgang für O_2 und CO_2 zeigt sich ein Minimum nach dem Aufstehen, ein Maximum nach dem Frühstück, und ein individuell unterschiedliches Abnehmen bis zum Spätnachmittag.

6. Die drei VPs zeigen unterschiedlich deutlich, daß der Organismus auf verschiedene Klimareize gleich reagiert. Es kommt zunächst zu einer Verminderung der O_2 Aufnahme und CO_2 Abgabe, dann zu einer Steigerung gegenüber Vergleichstagen ohne Klimareiz. Diese Ergebnisse können gedeutet werden als ein trophotropes Reagieren des Organismus auf Klimareize, das von einer ergotropen Phase abgelöst wird. Die Wirkung der Reize kann nach fünf Stunden nicht mehr sicher verfolgt werden.

7. Die Umschaltung von einer parasympathischen zur sympathischen Reaktion vollzieht sich für die drei VPs gleich zwischen Turn 2 und 3, also etwa 2 - 3 Stunden nach dem Klimareiz.

8. Werden die O_2 Aufnahmewerte (resp. CO_2 Abgabe) aus den 5 Versuchsturns zu Tagesdurchschnittswerten gemittelt, so läßt sich kein Einfluß, gleich welches Klimareizes, mehr auf den Gasstoffwechsel nachweisen.

9. Der RQ zeigt mit unseren Versuchsbedingungen einen angedeuteten Tagesgang. Dieser wird allerdings durch die Klimareize nicht nachweisbar beeinflußt.

10. Der Einfluß des Körperbaus und der vegetativen Grundstimmungslage auf die Sauerstoffaufnahme bzw. CO_2 Abgabe konnte mit unserem Versuchsaufbau nicht sicher geprüft werden.

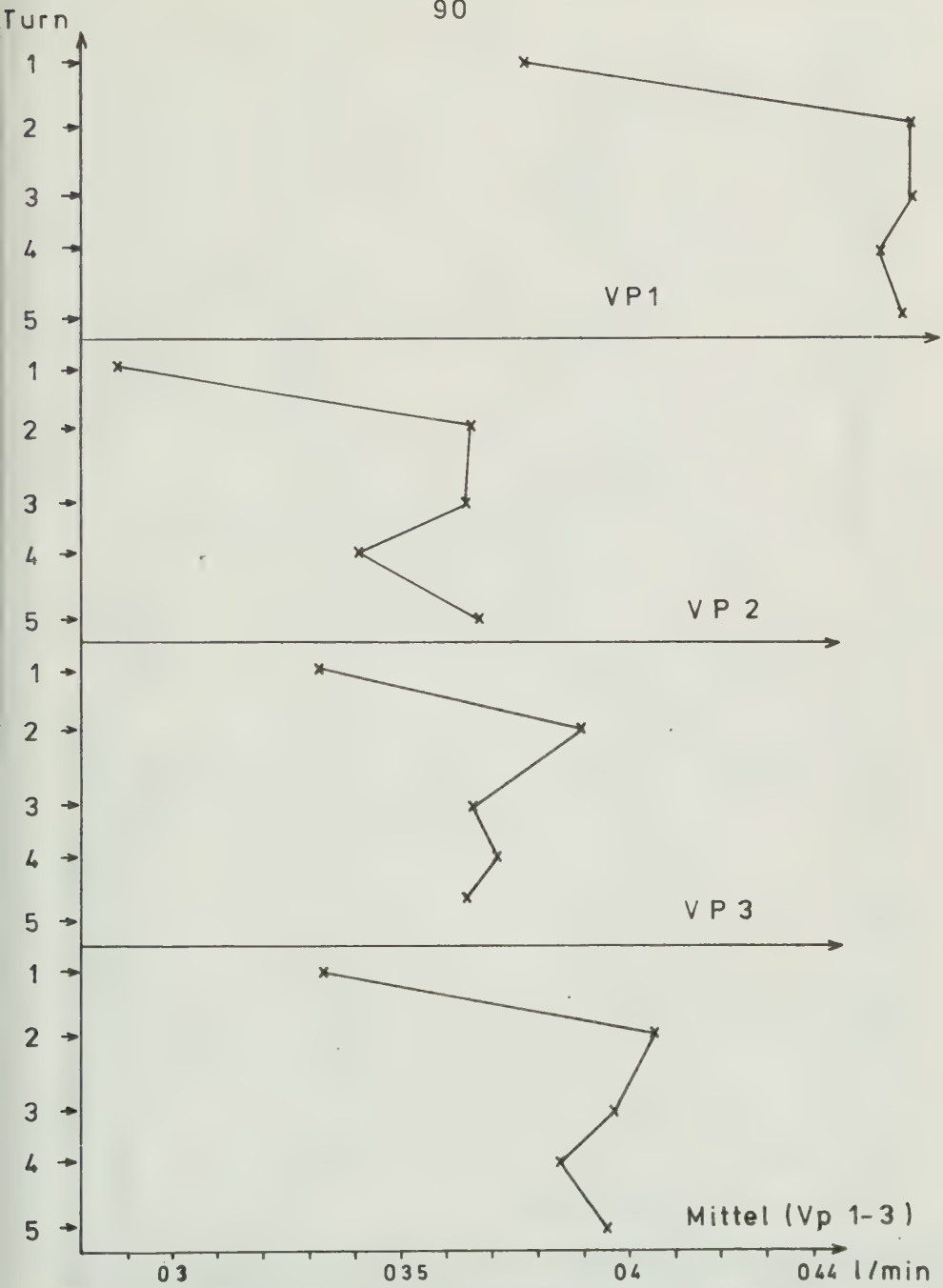

Abb. 1 Durchschnittliche O_2 Aufnahme pro Vp (Tagesgang)

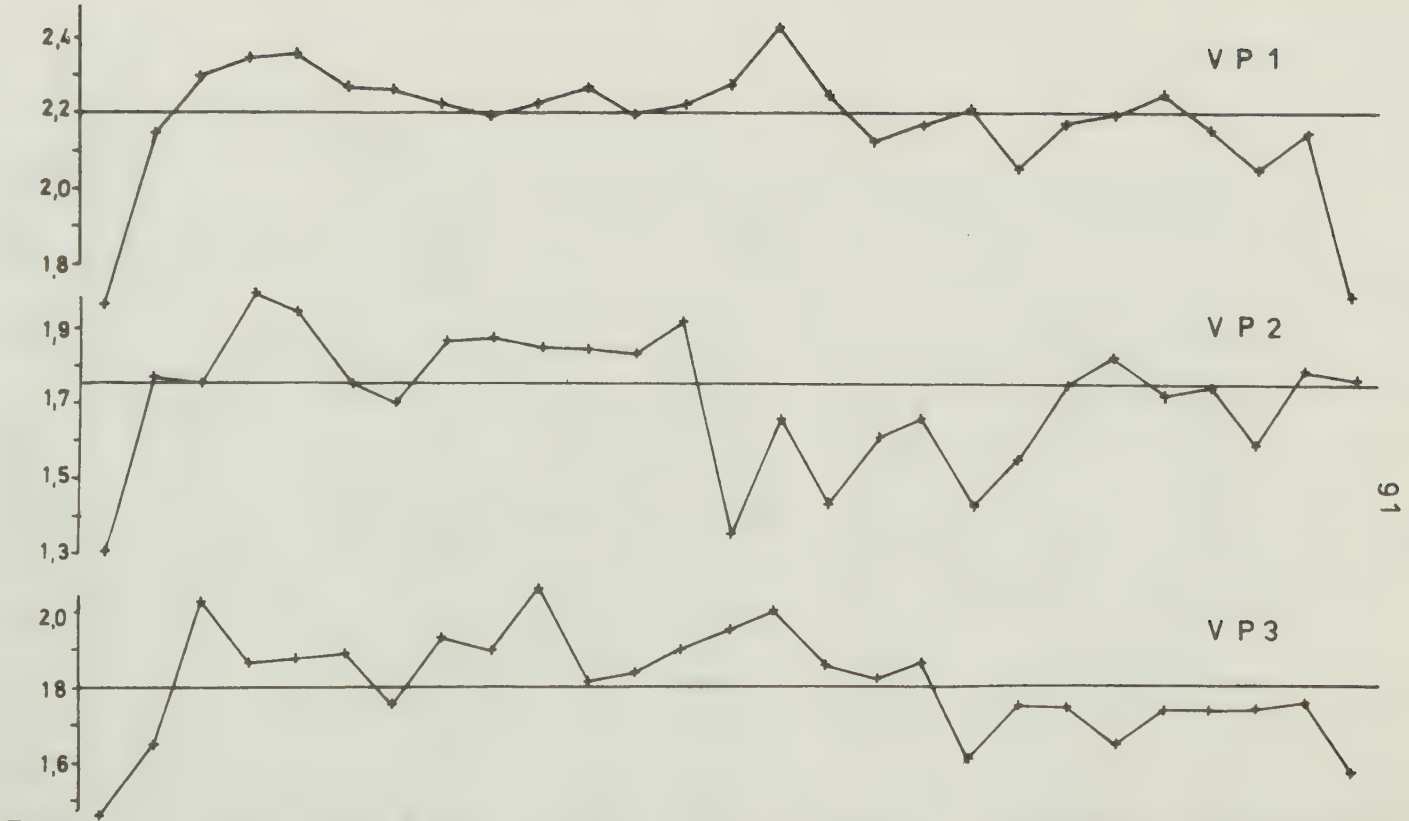

Abb. 2 Klimareize und O_2 Tagesmittelwerte

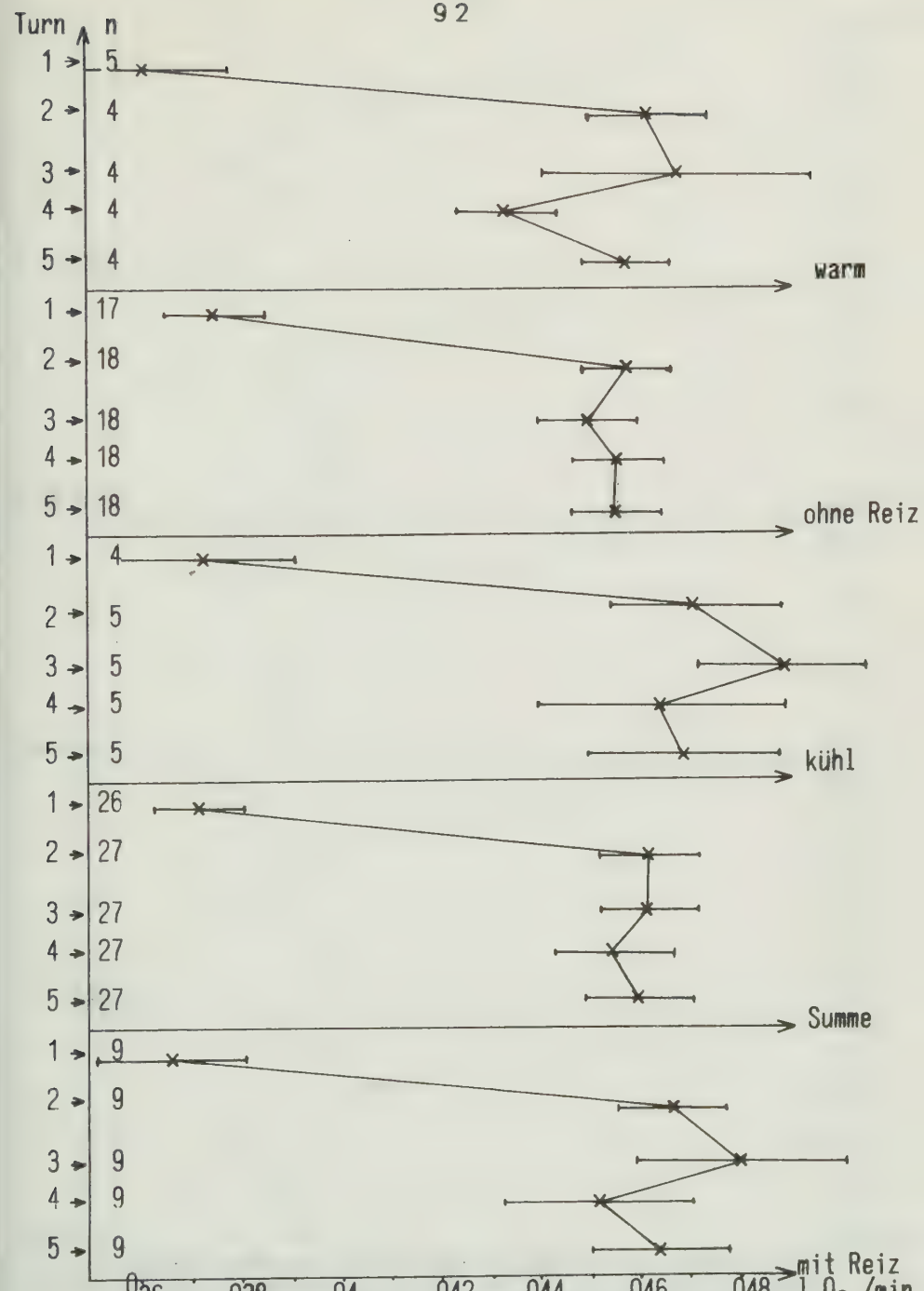

Abb. 3 Vp1 O_2 Aufnahme nach Temperaturreizen

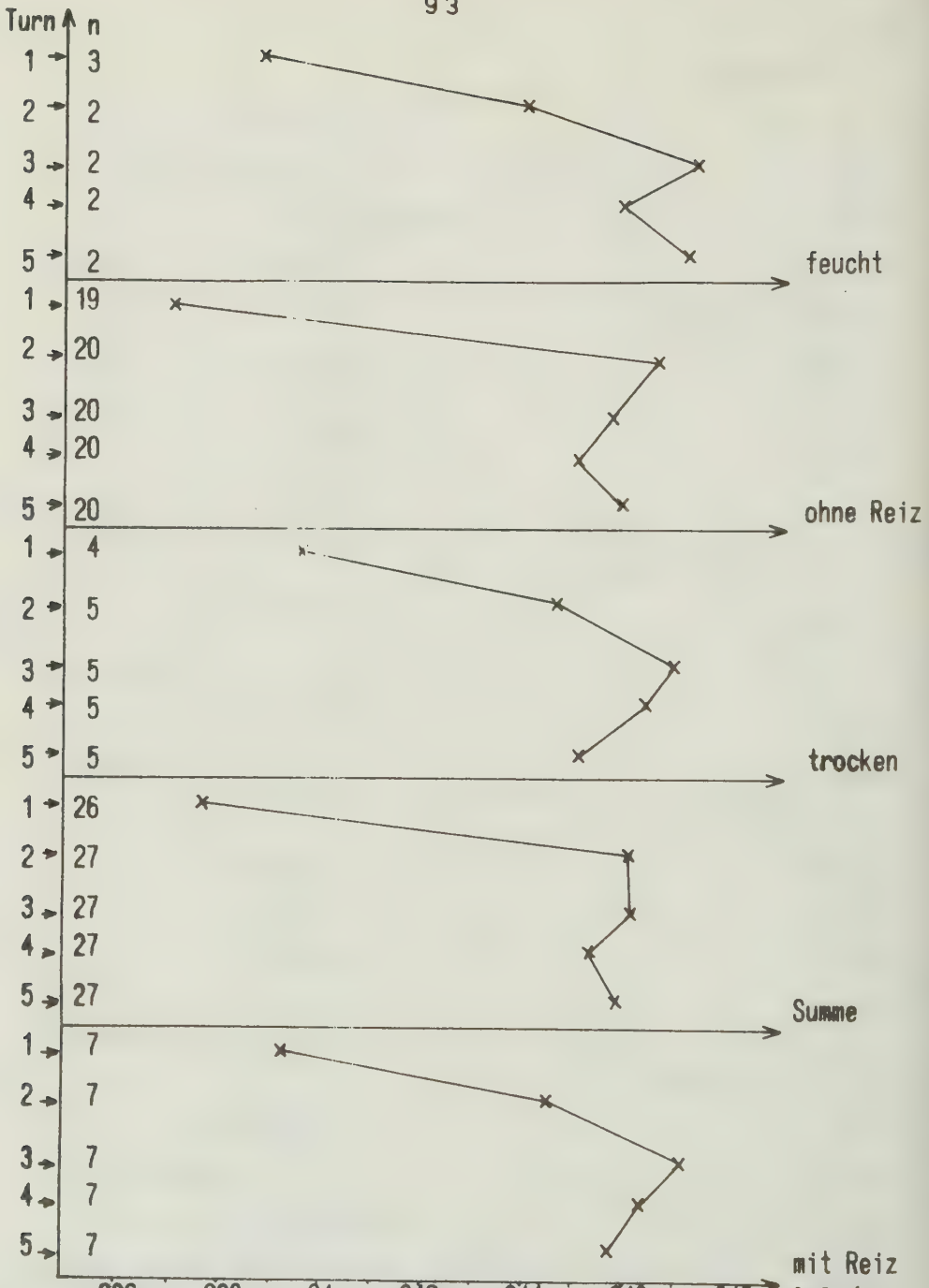

Abb. 4 Vp1 O_2 Aufnahme nach Feuchtereizen (rel.)

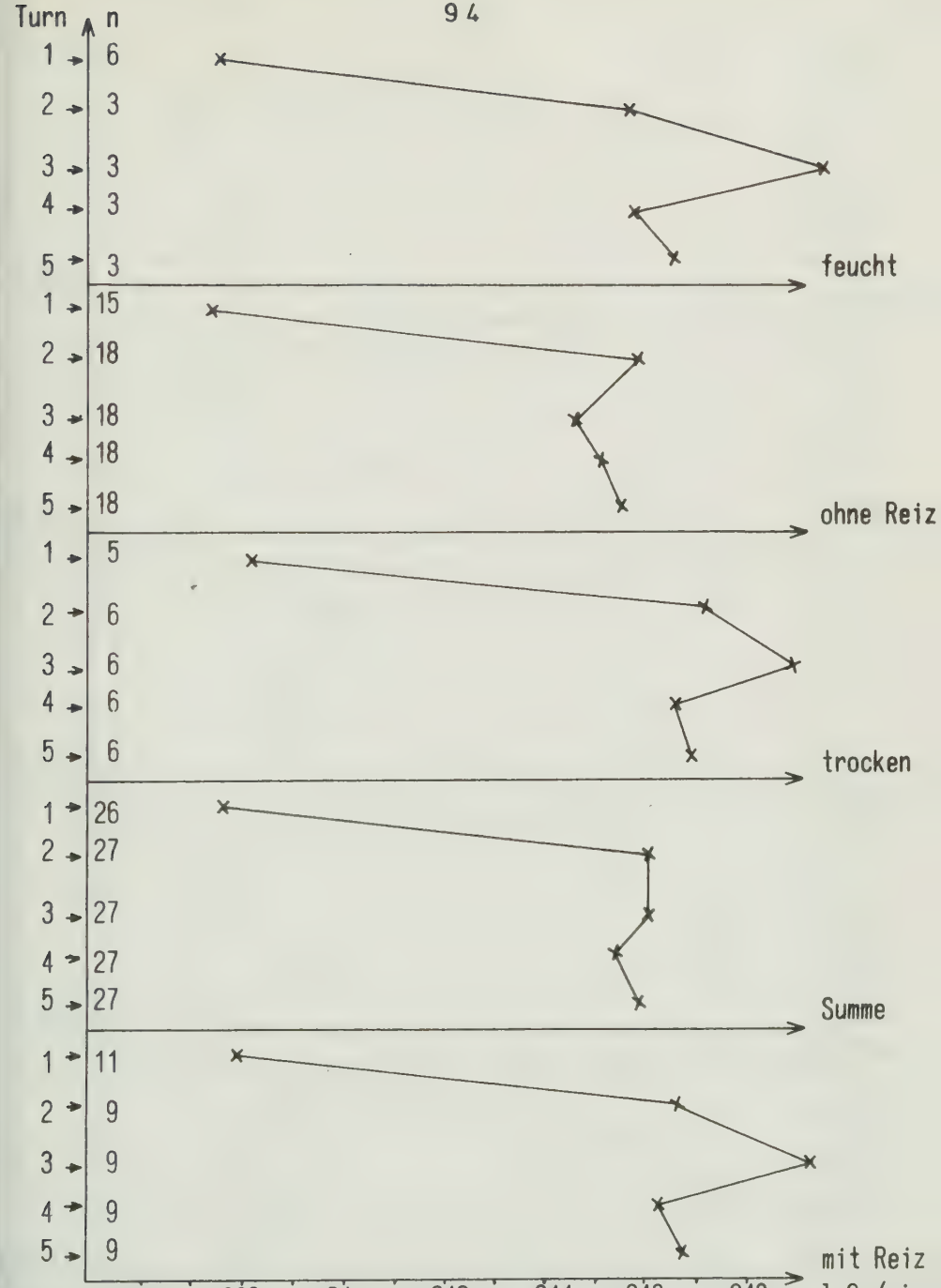

Abb. 5 Vp1 O_2 Aufnahme nach Feuchtereizen (absolut)

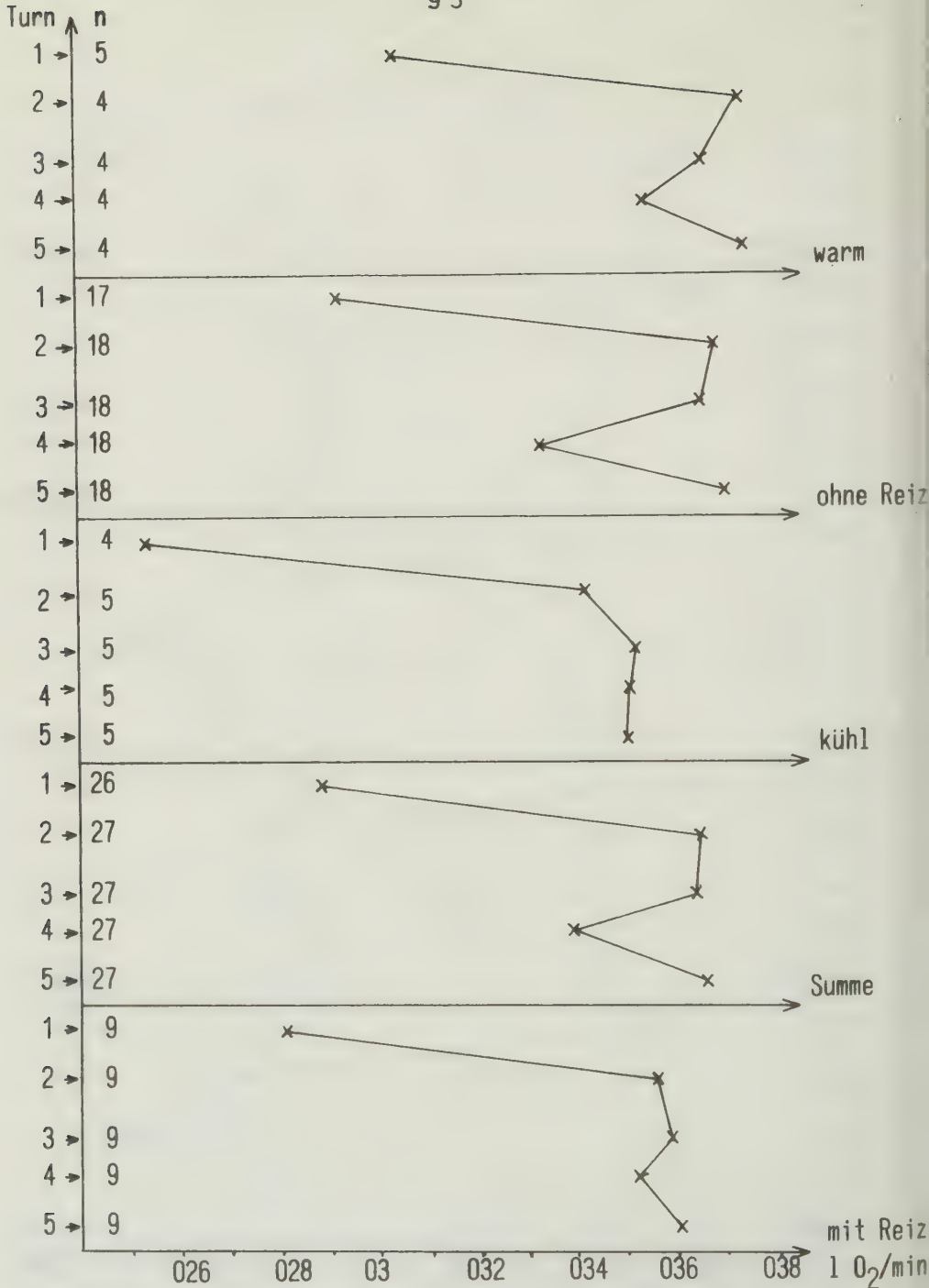

Abb. 6 Vp 2 O_2 Aufnahme nach Temperaturreizen

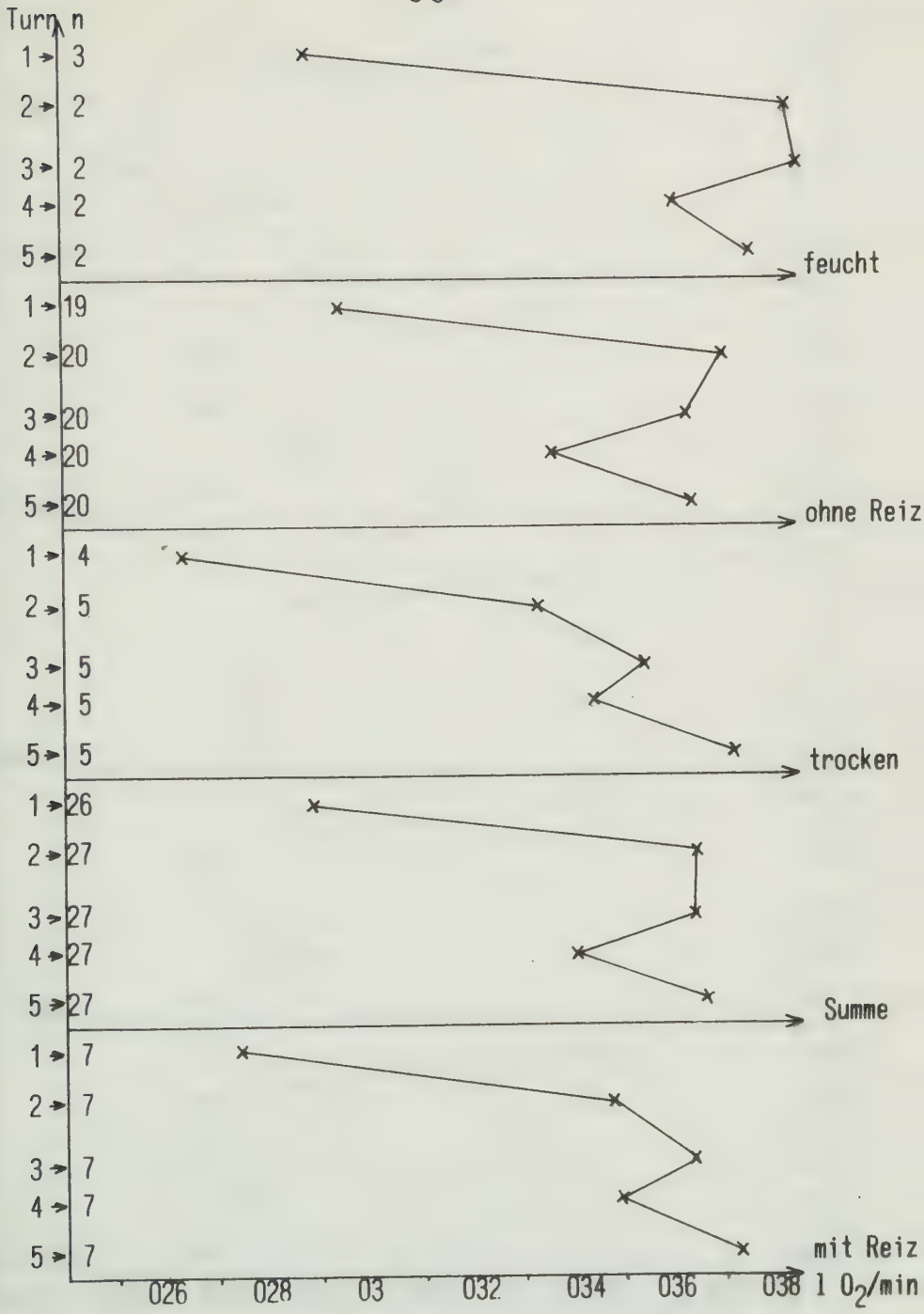

Abb. 7 Vp 2 O_2 Aufnahme nach Feuchtereizen (rel.)

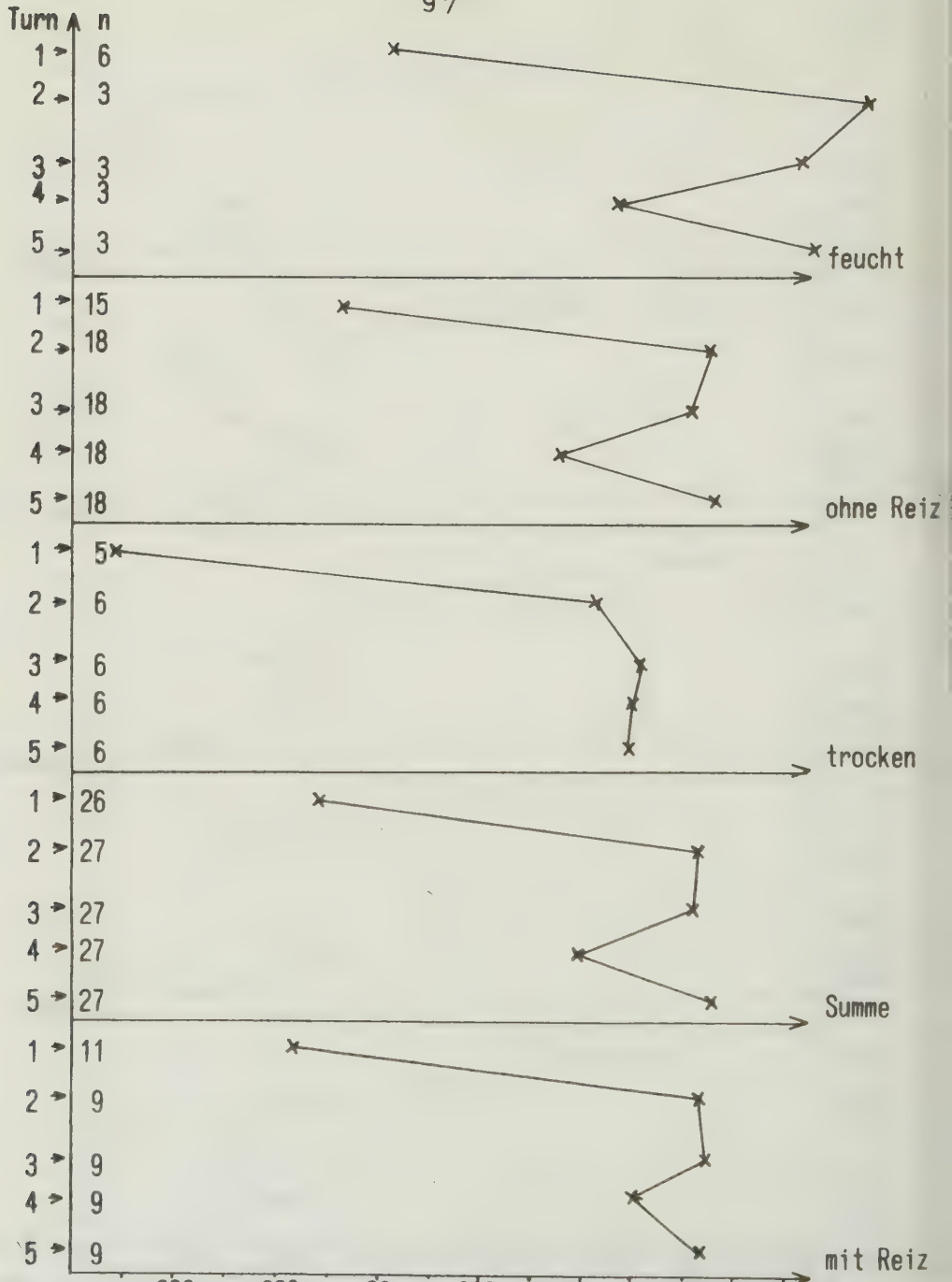

Abb. 8 Vp 2 O_2 Aufnahme nach Feuchtereizen (absolut)

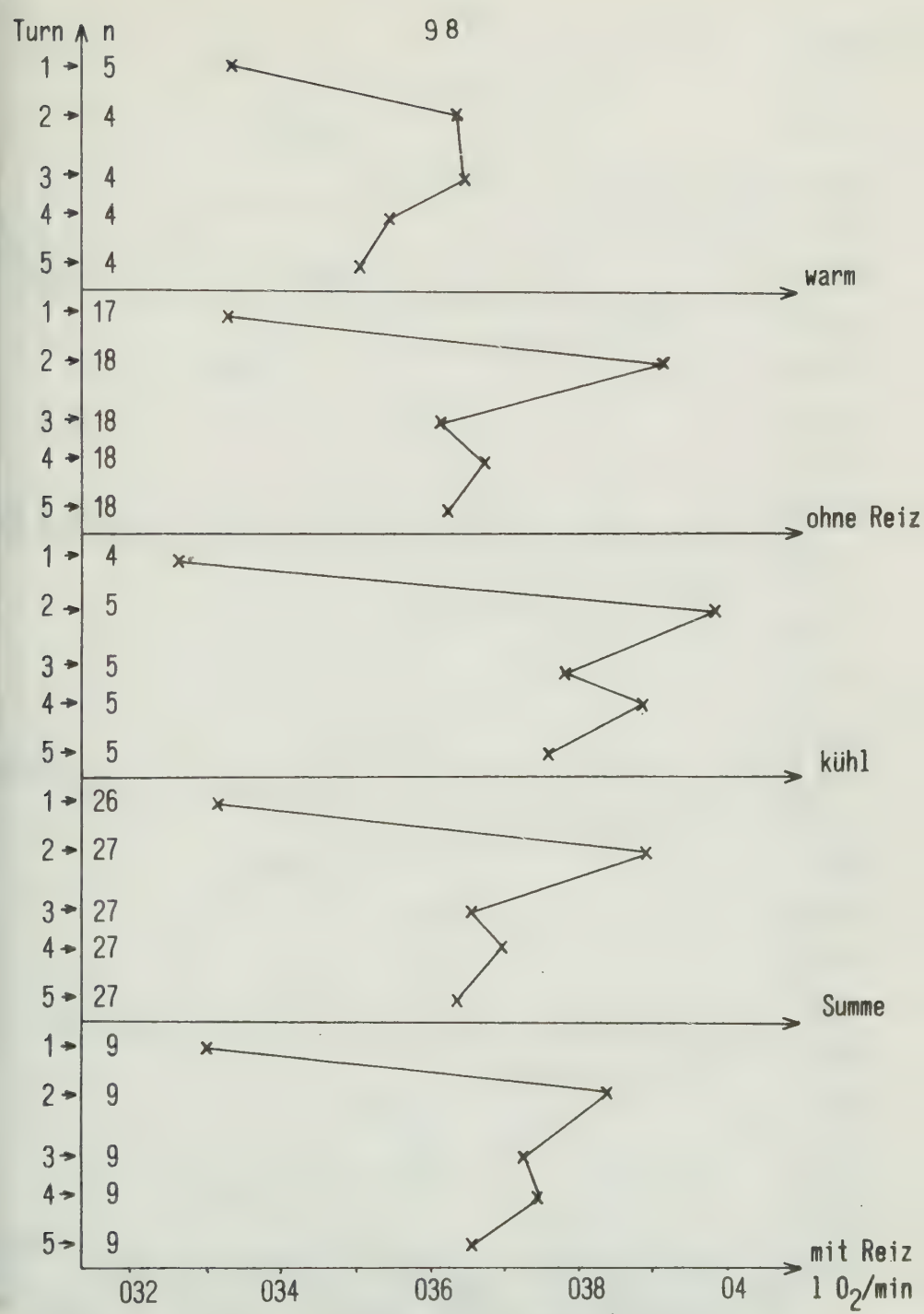

Abb. 9 Vp 3 O_2 Aufnahme nach Temperaturreizen

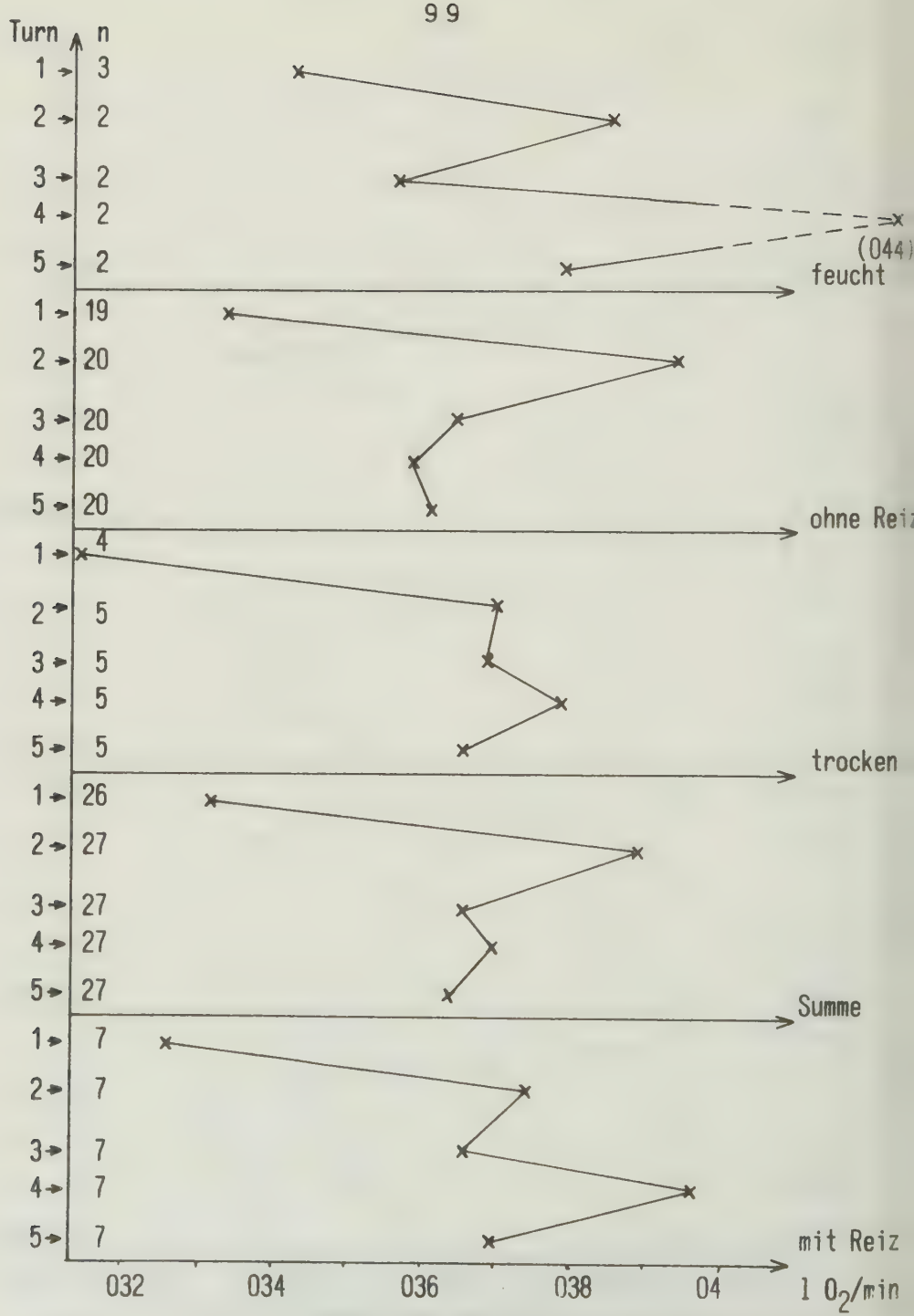

Abb. 10 Vp 3 O_2 Aufnahme nach Feuchtereizen (rel.)

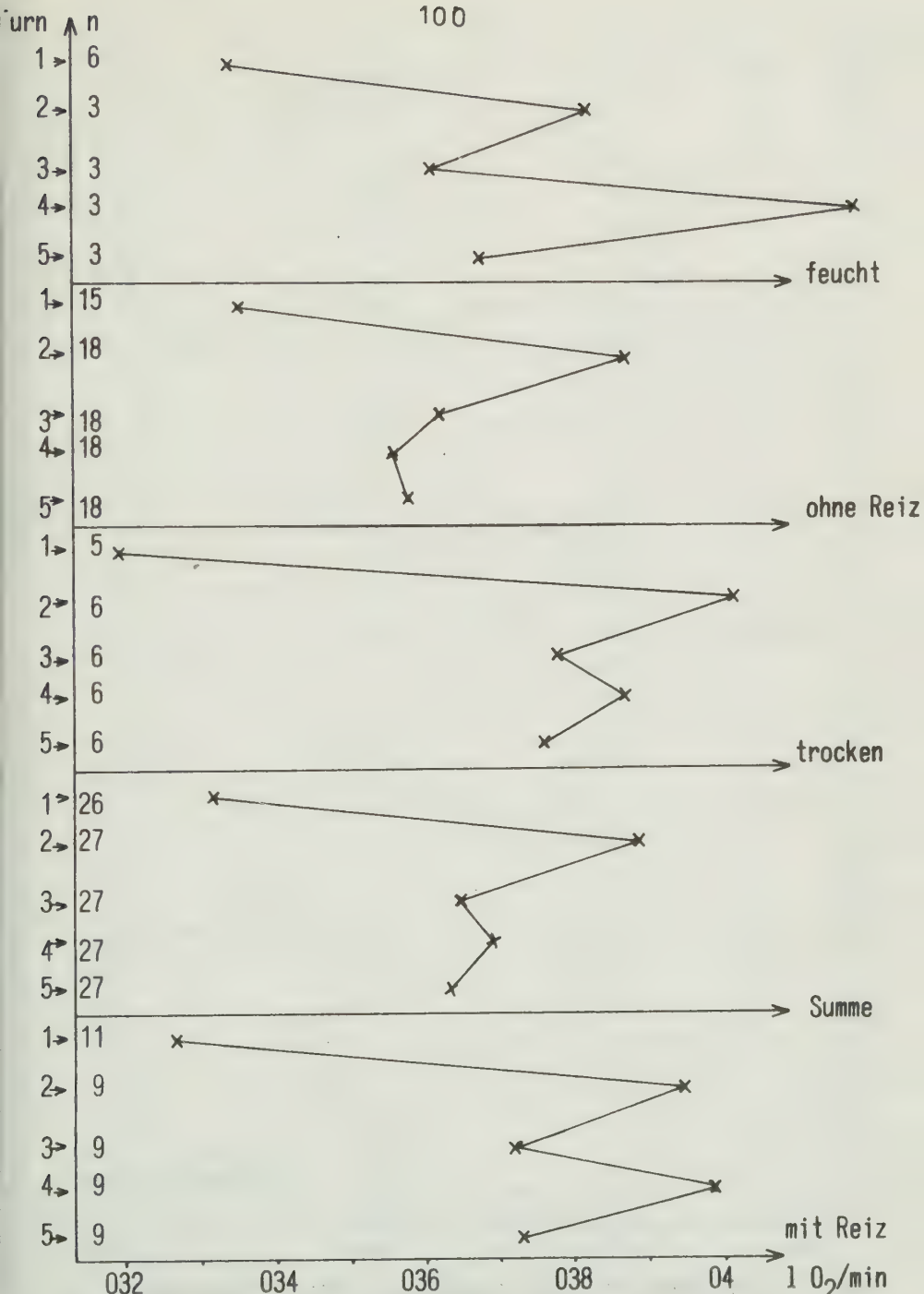

Abb. 11 Vp3 O_2 Aufnahme nach Feuchtereizen (absolut)

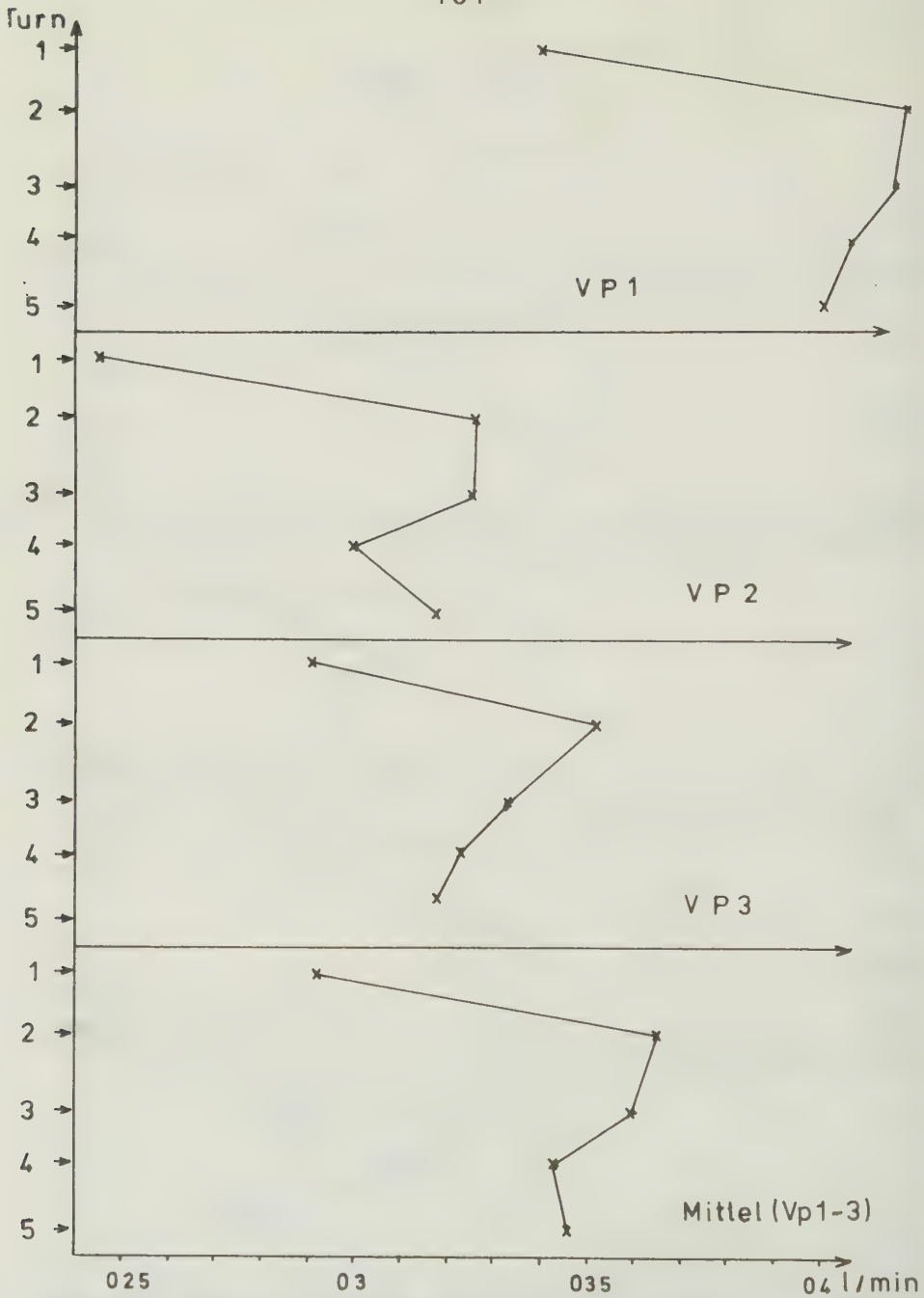

Abb. 12 Durchschnittliche CO_2-Abgabe pro Vp (Tagesgang)

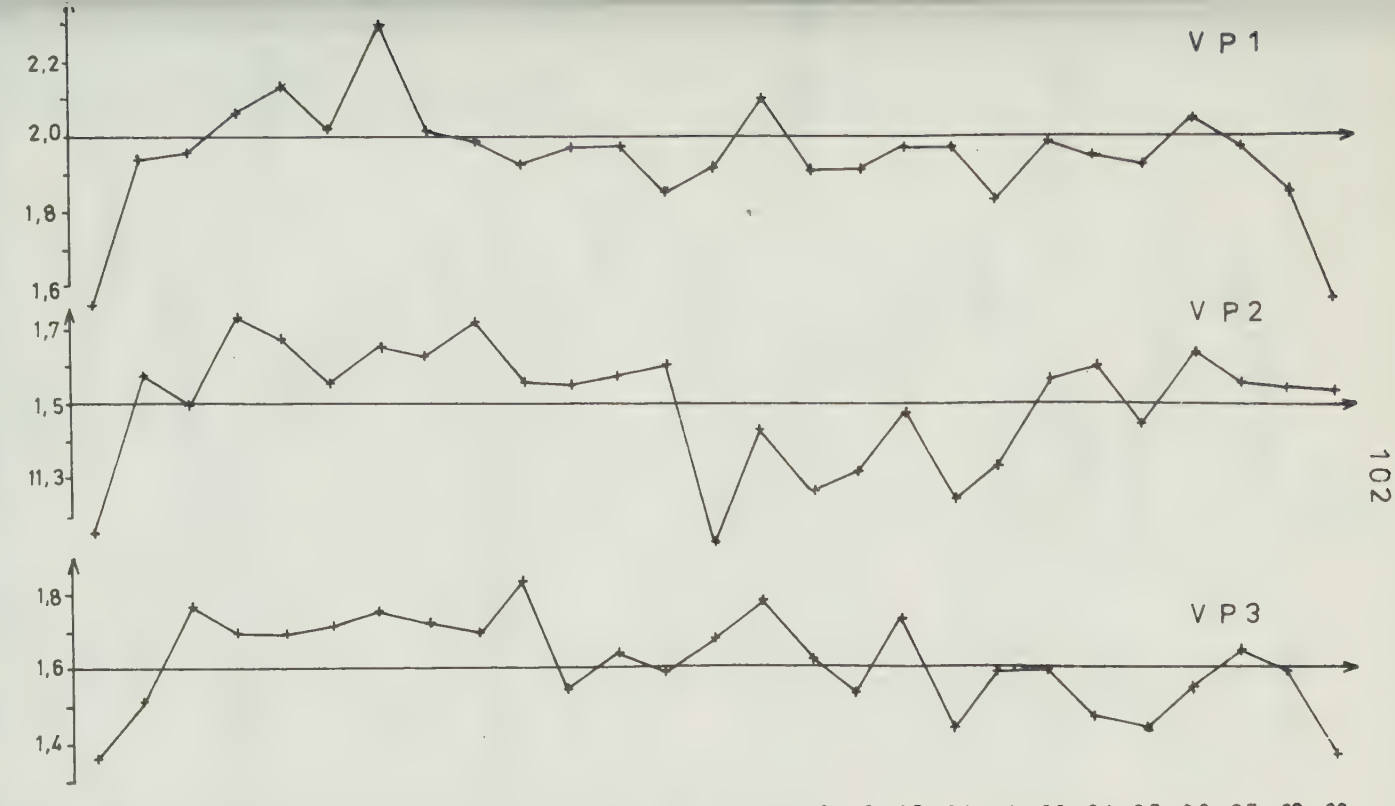

Abb. 13 Klimareize und CO_2 Tagesmittelwerte

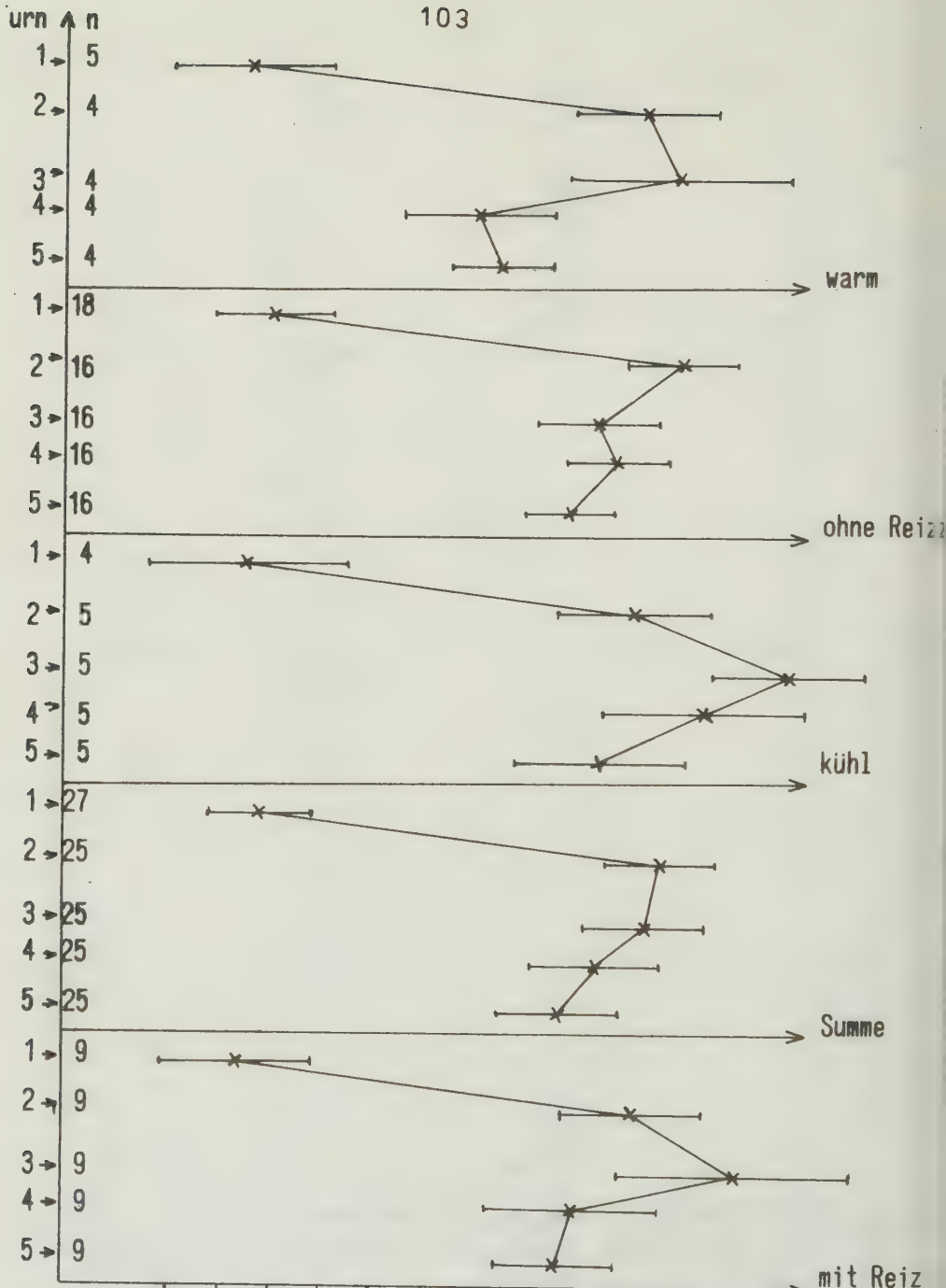

Abb. 14 Vp 1 CO_2 Abgabe nach Temperaturreizen

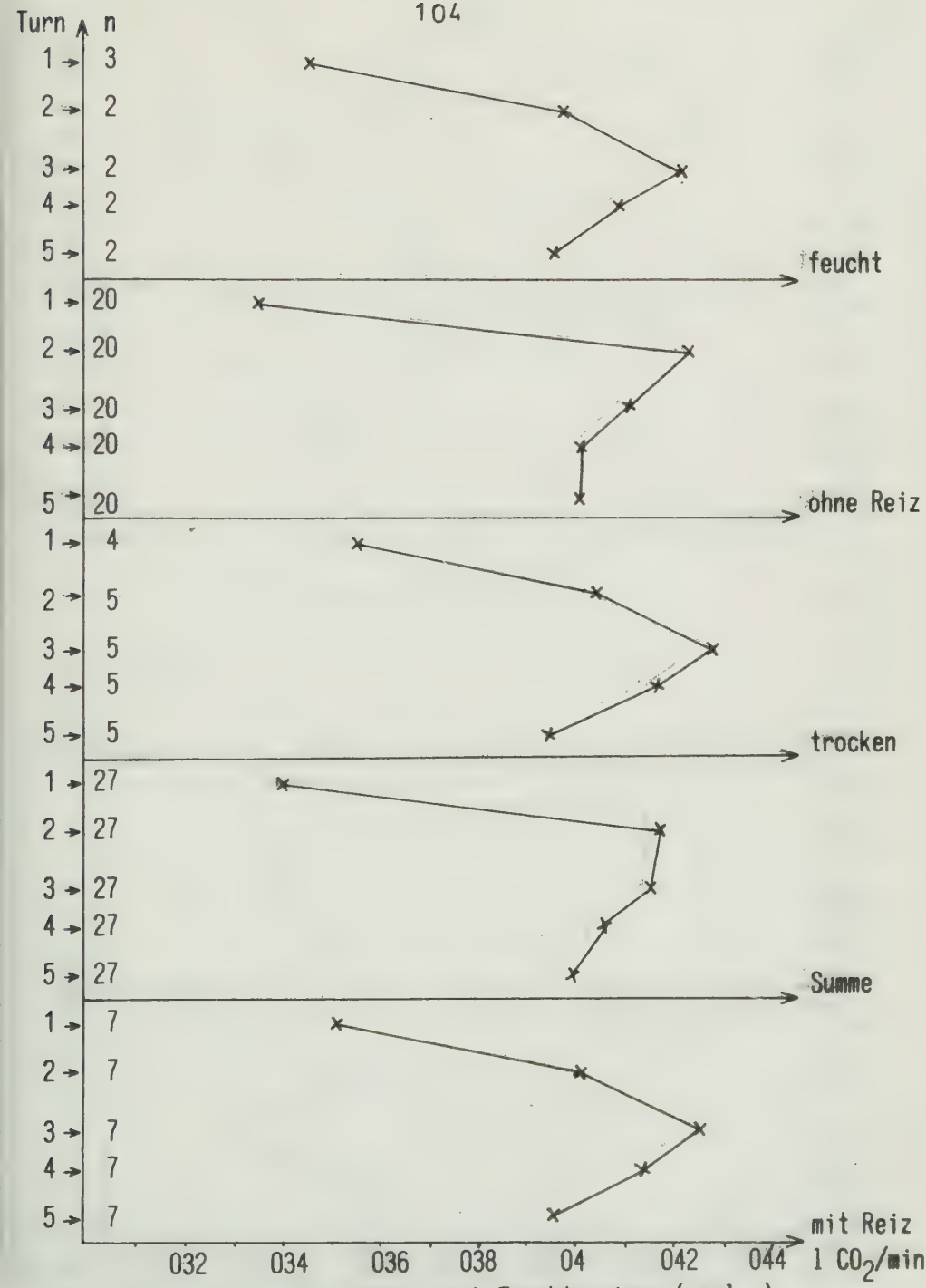

Abb. 15 Vp 1 CO_2 Abgabe nach Feuchtereizen (rel.)

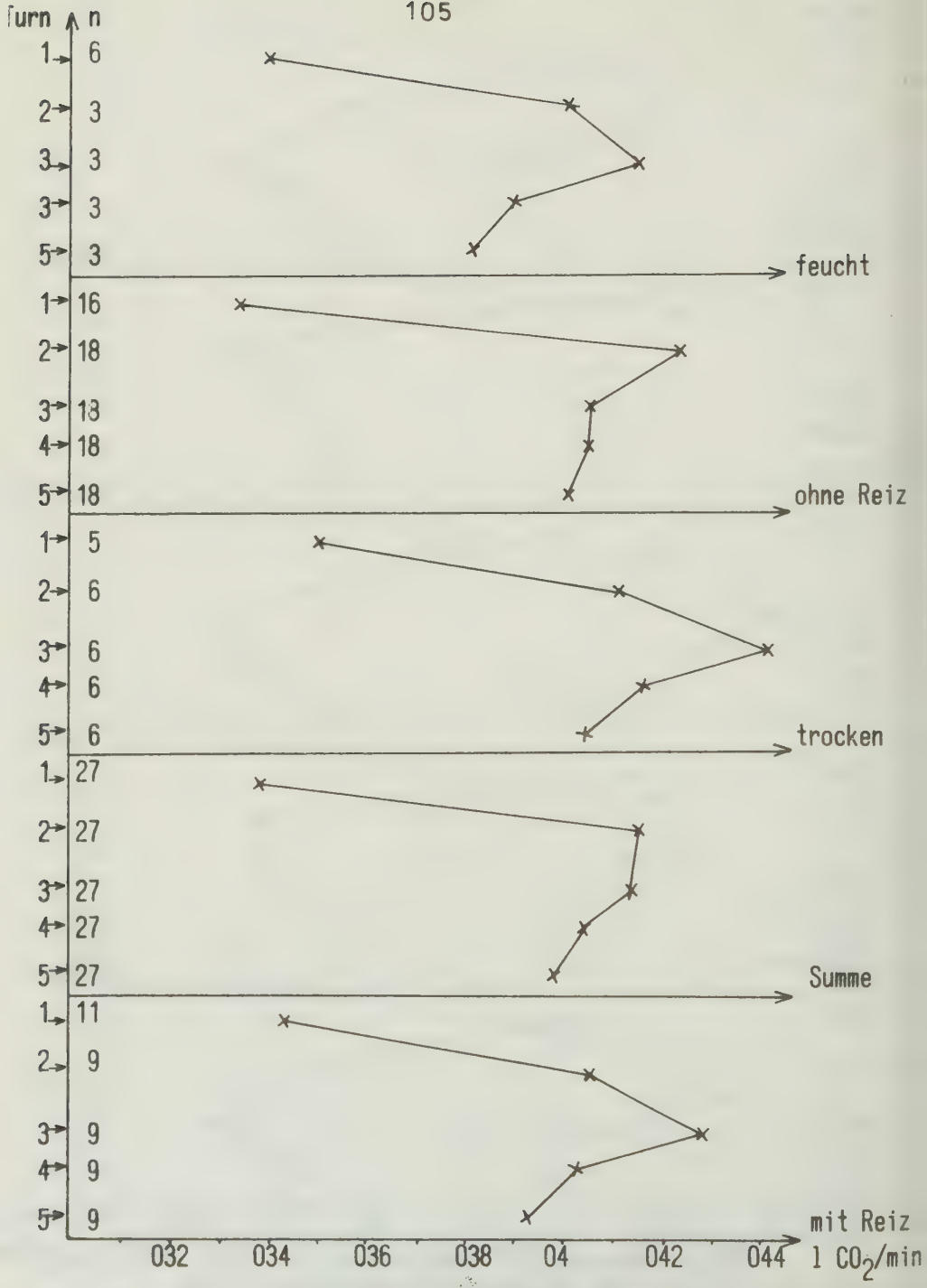

Abb. 16 Vp 1 CO_2 Abgabe nach Feuchtereizen (absolut)

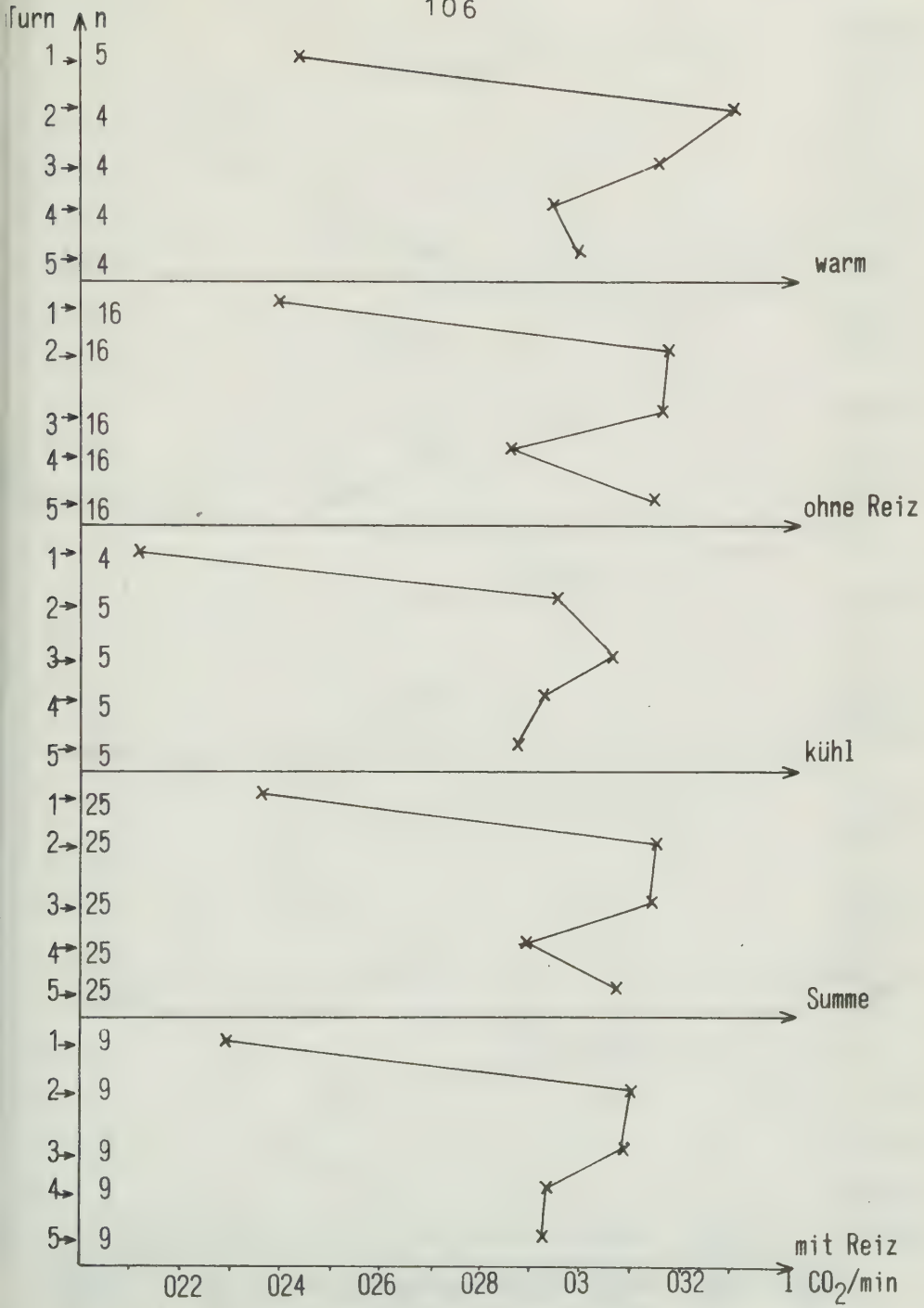

Abb. 17 CO_2 Abgabe nach Temperaturreizen

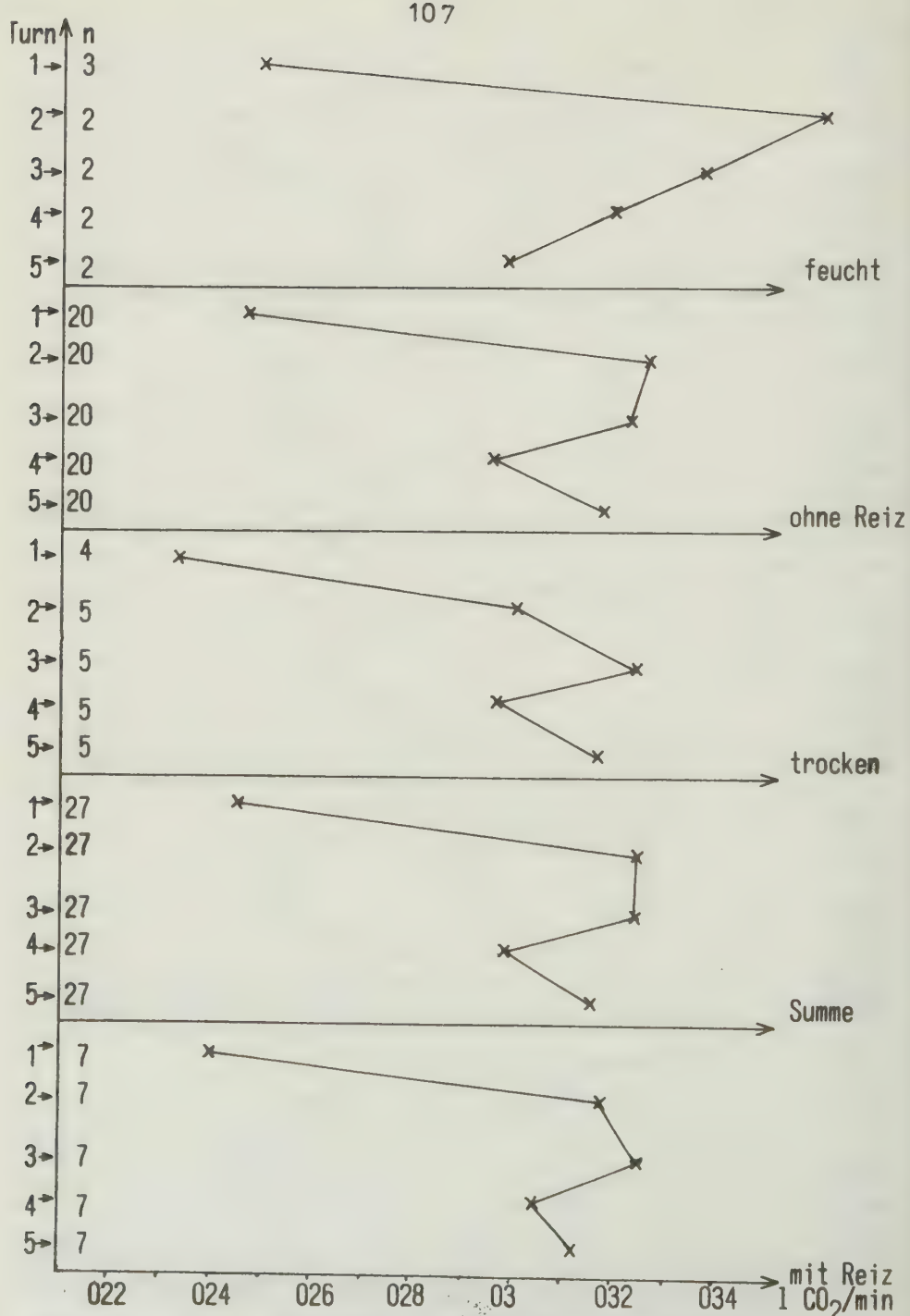

Abb. 18 Vp 2 CO_2 Abgabe nach Feuchtereizen (rel.)

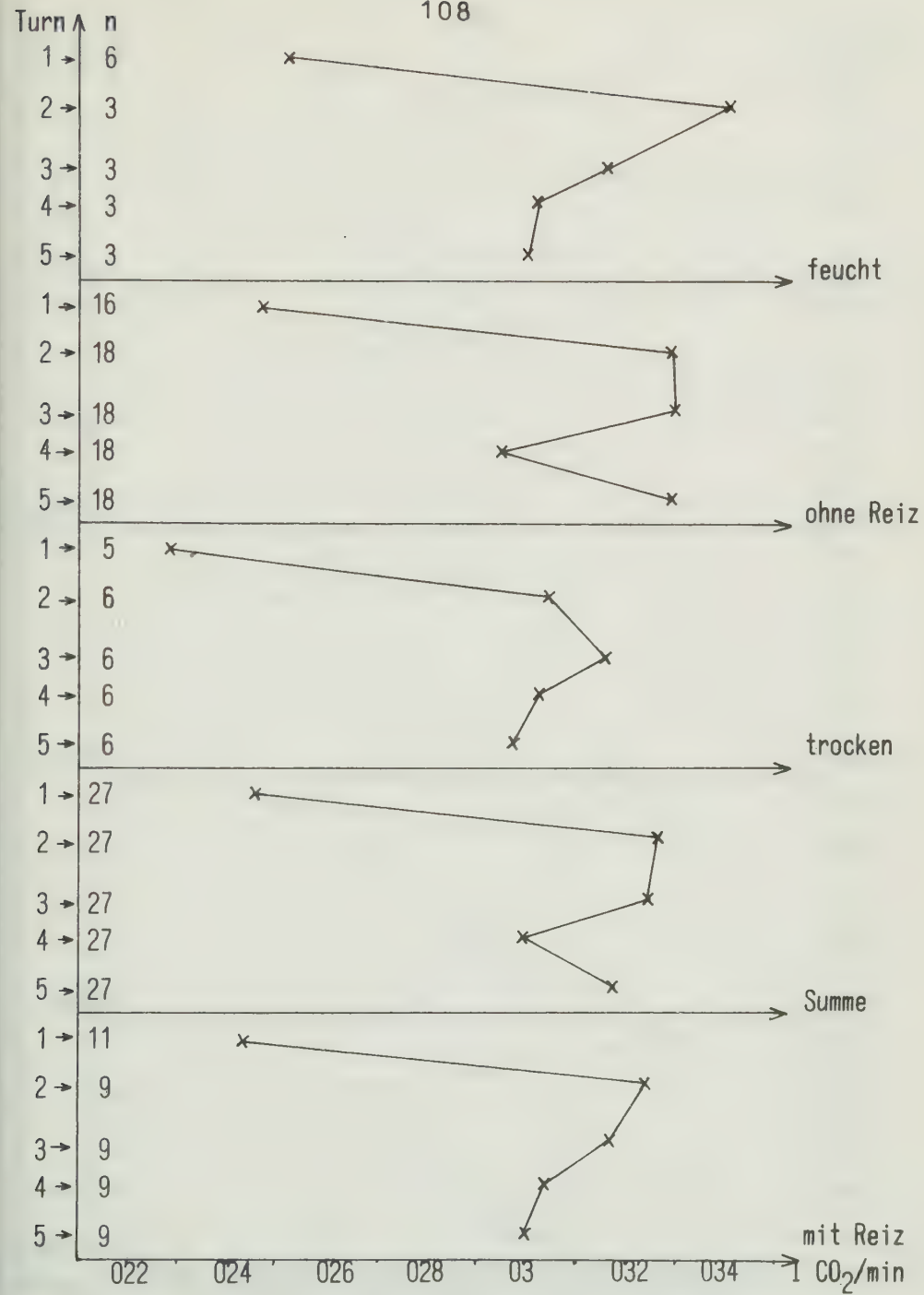

Abb. 19 Vp 2 CO_2 Abgabe nach Feuchtereizen (absolut)

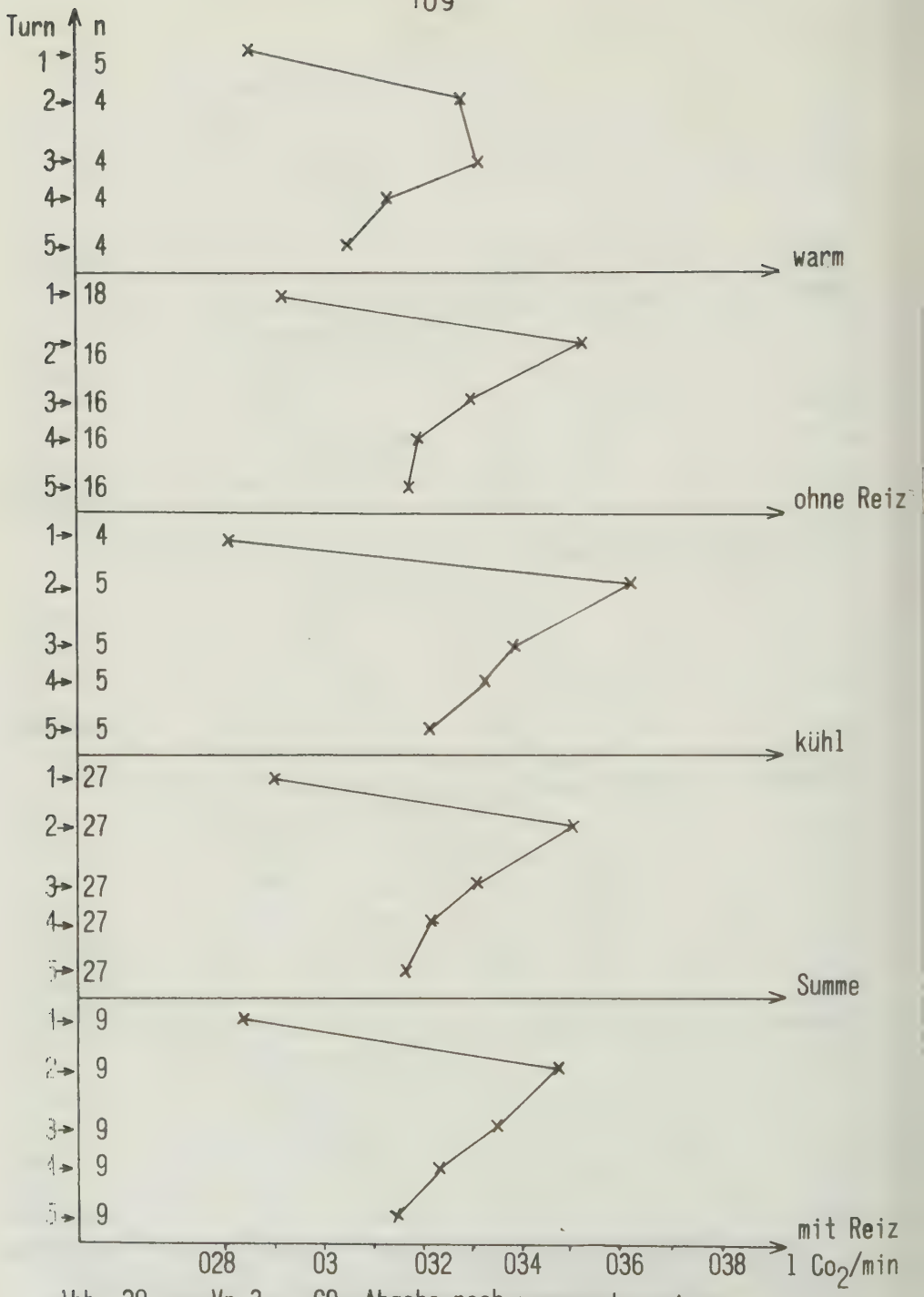

Abb. 20 Vp 3 CO_2 Abgabe nach Temperaturreizen

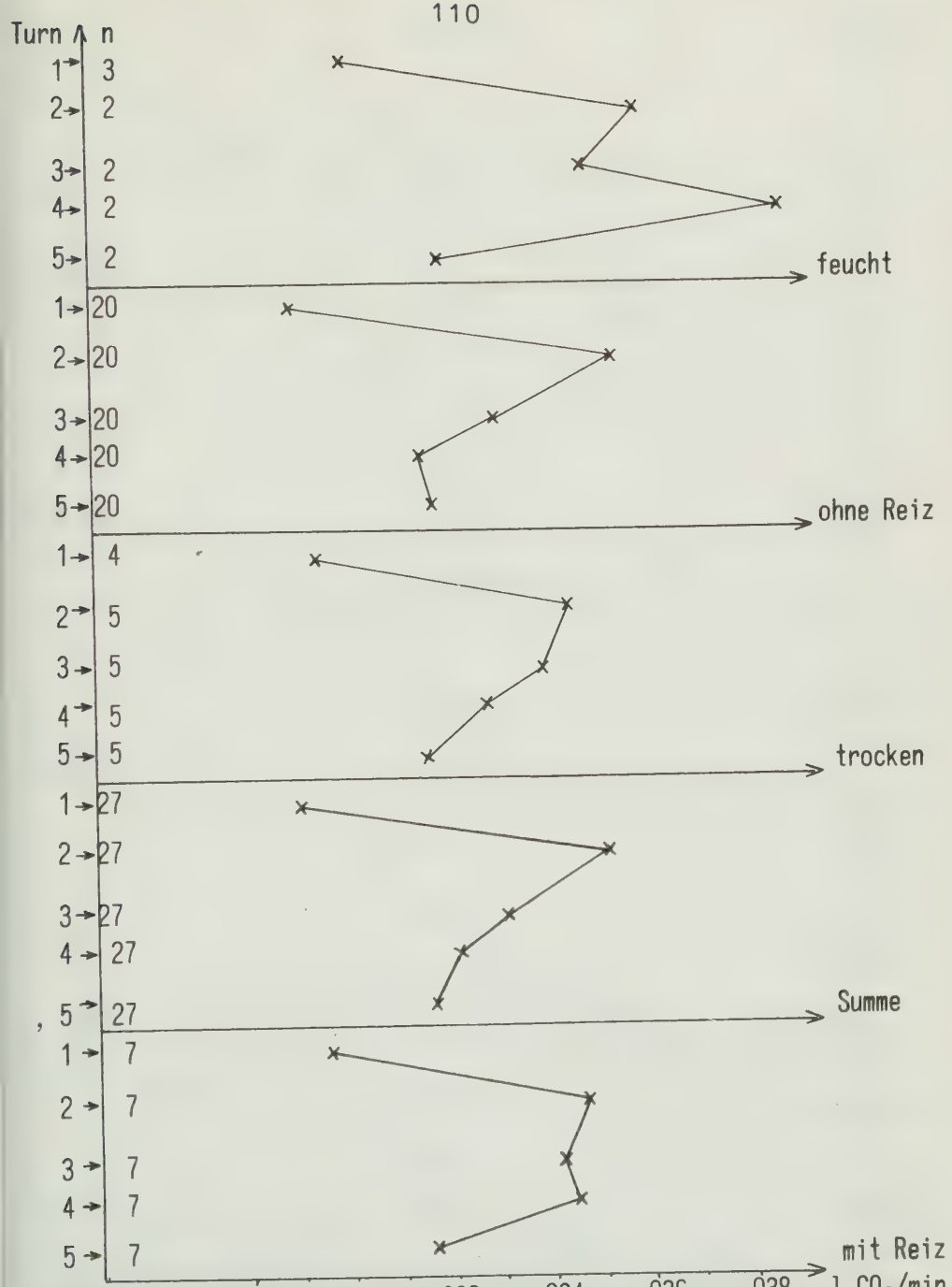

Abb. 21 Vp 3 CO_2 Abgabe nach Feuchtereizen (rel.)

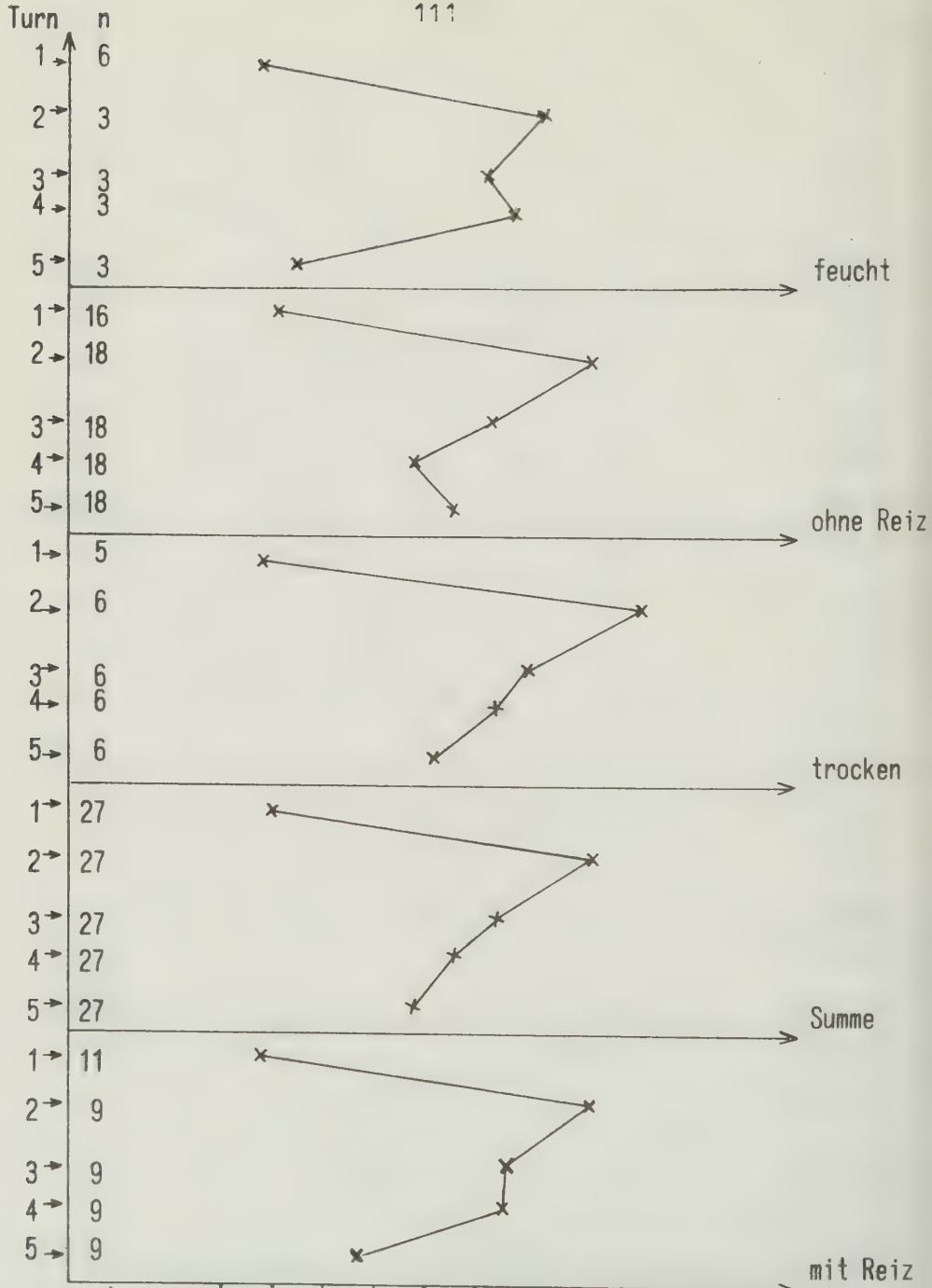

Abb. 22 Vp 3 CO_2 Abgabe nach Feuchtereizen (absolut)

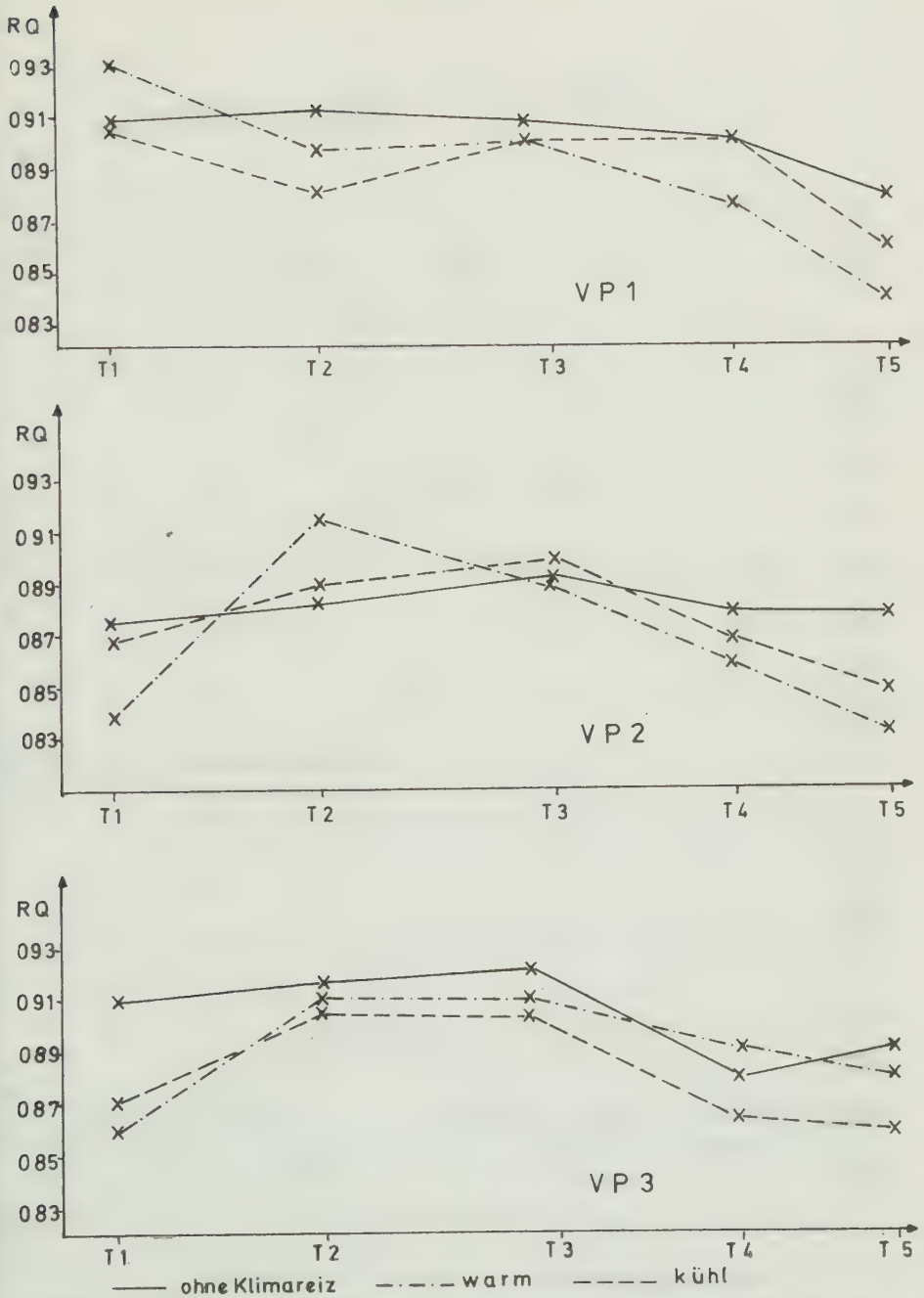

Abb. 23 Klimareize (Temp.) und Respiratorischer Quotient

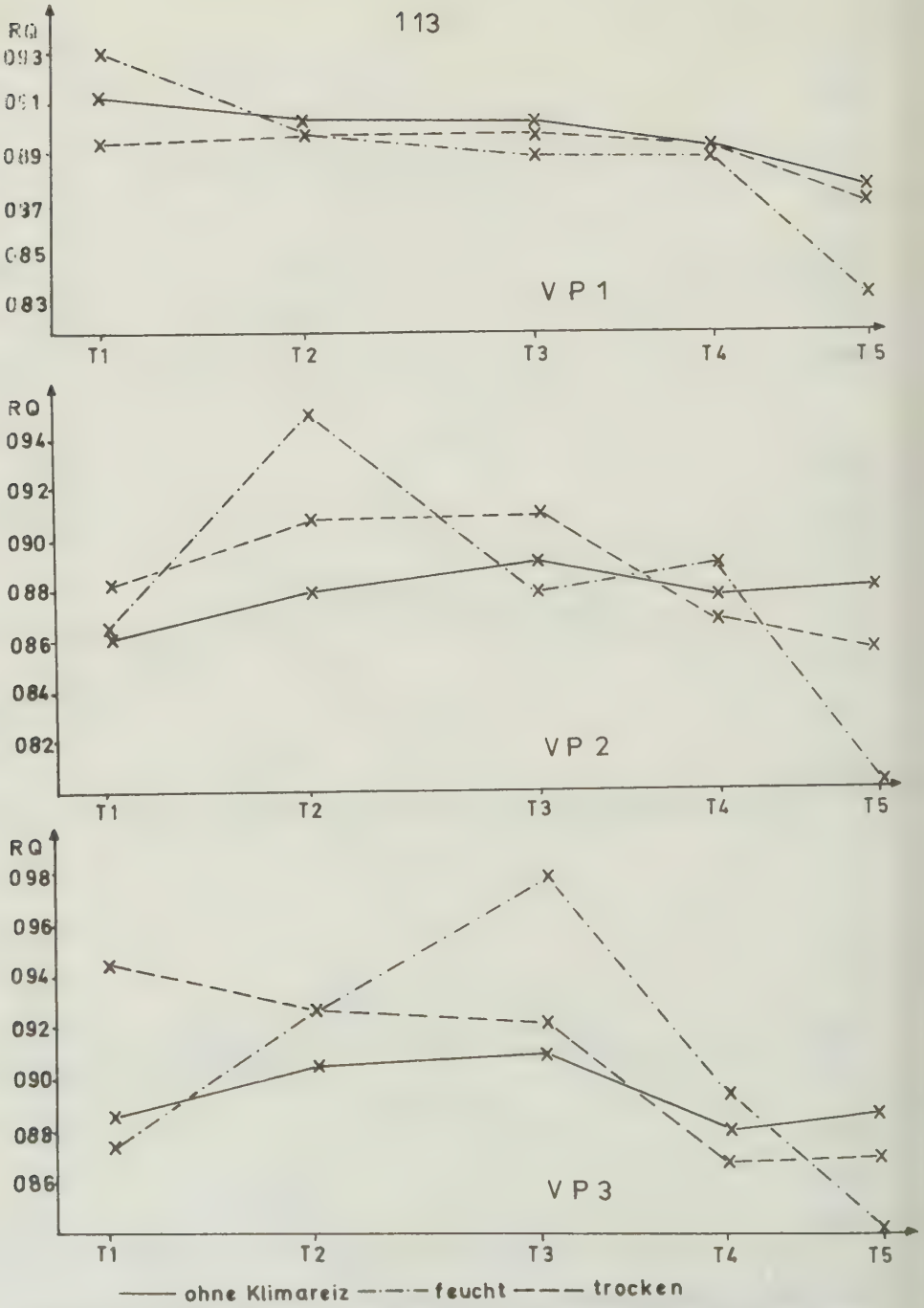

Abb. 24 Klimareize (Feuchte) und Respiratorischer Quotient

8. Literaturverzeichnis

(1) AMELUNG, W., A. EVERS: Handbuch der Bäder- und Klimaheilkunde; Thieme Stuttgart 1962, Kap. XIV 1 und 3b

(2) ANTHONY, A.J., H. VENRATH: Funktionsprüfung der Atmung; Barth, J.A. Leipzig 1962

(3) ANTHONY, A.J.: Untersuchung über die Atmung bei erhöhtem Luftdruck, Beiträge zur Klinik der Tuberkulose und spez. Tbc Forschung; Bd 66 1927, 340

(4) ASSMANN, D.: Die Wetterfühligkeit des Menschen; VEB G. Fischer Jena 1963

(5) BECKER, CATEL, KLEMM, STRAUBE, KALKBRENNER: Experimentelle Beiträge über die Beziehung von neuzeitlicher Bioklimatik und Medizin; Ärztl. Forschung 1949, 436-448

(6) BECKER, F., U. STRÖDER: Wirkungen kurzfristiger Änderungen der Biosphäre aus Amelung, W.: Handbuch der Bäder- und Klimaheilkunde; 620 ff

(7) BERG, H.: Zur Bedeutung von Temperatur und Feuchtigkeit für die Behaglichkeit aus: Wetter und Leben 9, 47-50 (1957)

(8) BONGARDS, H.: Feuchtigkeitsmessung; Oldenburg München Berlin 1926, 300-310

(9) BONGARD, H.: Körperbau und Grundumsatz; Klin. Med. 121, 737-747 (1932)

(10) BREZOWSKY, H., H. GRIMMEISEN: Pathologische Reaktionen auf biotrope Wetterphasen; Therapie der Gegenwart 3, 341 ff (1967)

(11) BREZOWSKY, H.: Einfluß des Wetters auf den Organismus; Materia Medica Nordmark 2. Sonderheft 1961

(12) COMROE, J.H.: Physiologie of Respiration; Yearbook Medic. publishers Chicago 1965, dt. Übers. Schattenauer Stuttgart 1968, 9-14

(13) COMROE, J.H., FORSTER, DUBOIS, BRISCOE, CARLSON: The lung; Yearbook Medic. Chicago 1964, 591-597

(14) COTTLE, W., L.D. CARLSON: Adaptative changes in rats exposed to cold caloric exchange; Am. Journal of Physiol. 178/2, 305-308 (1954)

(15) CUENOT, A.: Météoropathologie et variations de la consomation d'oxygene; L'Expansion Scientifique Francaise Paris, 7-50 (1959)

(16) CURRY, M.: Über Ursachen und Bedeutung der Wettereinflüsse auf den Organismus; Ärztl. Forschung 81-93 (1948)

(17) DAUBERT, K.: Spez. Reizkomponenten des Wetters und ihre Beziehung zum gesunden und kranken Organismus; Med. Met. Heft 13, 63-75 (1958)

(18) DAUBERT, K.: Das kausale Problem der Wetterfühligkeit; Med. Met. Forschungsstelle Tübingen Heft 1 (1968)

(19) DIRNAGL, K.: Zur Methodik der meteorologischen und bioklimatischen Forschung; Archiv f. physik. Therapie H. 2, 5. Jahrg. 1953, 87-91

(20) DOCUMENTA GEIGY: Wissenschaftliche Tabellen Basel 1960, 535-548

(21) DONTCHEFF, L., Ch. KAYSER: Le rhythme saisonnier du métabolisme de base chez le pigeon en fonction de la température moyenne du milieu; Annales de Physiologie et Physico-Chimie biologique 10, 285-300 (1934)

(22) ENDRES, K.: Über den Einfluß von Temperaturreizen auf den Sauerstoffverbrauch; Inaugural Diss. Würzburg 1934

(23) v. FIKER, DE RUDDER: Föhn und Föhnwirkungen; Akadem. Verlagsgesellschaft Leipzig 1943, 93 ff

(24) FITZGERALD, HALDANE: The change in the breathing and the blood at varions high altitudes; Physiol. Trans. Roy. Soc. London 1913

(25) GANONG, W.F.: Medizinische Physiologie; Springer Berlin 1971, 252-259

(26) GEPPERT, M.-P.: Zur statistischen Methodik der bioklimatischen Forschung; Med. Met. Heft 9 (1954); Nauheimer Fortbildungslehrgänge 19, 91 (1954)

(27) GEYER, G.: Über den Einfluß von Luftfeuchte und Lufttemperatur auf Kreislauf und Atemgrößen, sowie Kapillarresistenz während eines langfristigen Aufenthaltes im Klimaraum; Med. Dissert. München 1972

(28) ITOH, S., K. OGATA: Advances in Climatic Physiologie; Igaku Shoin Ltd. Tokyo 1972, 401-405

(29) HARRIS, BENEDICT: A biometric study of basal metabolisme in man; Publ. No 279 of the Carnegie Instit. of Washington 1919

(30) HEINECKER, R.: Individuelle Unterschiede in der Reaktion von Kreislauf und Gasstoffwechsel auf dosierte Belastung; Archiv f. Kreislaufforschung 30, 1, 1959

(31) HELLPACH, W.: Geopsyche; Enke Stuttgart 1950, 6. Aufl.

(32) HERTZ, Th.: Pharmakodynamische Untersuchungen an Konstitutionstypen; Zschr. ges. Neurologie 134, 605-615 (1931)

(33) HIPPOKRATES: Fünf auserlesene Schriften; Fischer Bücherei Frankfurt, Bd. 255 (1959)

(34) HOFF, F.: Klinische Physiologie und Pathophysiologie; Thieme Stuttgart 1962, 17-26, 160 ff

(35) HOFF, F.: Klinische Probleme der vegetativen Regulation und der Neuralpathologie; Dtsch. med. Wschr. 65, 122 ff, 146 ff (1952)

(36) HOFF, F.: Grundformen vegetativer Regulationen; Z. menschl. Vererbungs- und Konstitutionslehre Bd. 33, 265-282 (1956)

(37) HUBER, C.J.: La Thermographie et la Main; Serv. Radiol. Adultes, Hop. Necker Paris, Ann. Chir. 29/II, 1025-33 (1975)

(38) KEIDEL, W.D.: Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie; Thieme Stuttgart 1971, 45-47

(39) KESTNER: Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Bd. 10, 965 (1930)

(40) KITZING, J., KUTTA, BLEICHERT: Energieumsatz und Korntemperatur bei kl. Leistungen in warmer und kalter Umgebung; Int. Z. Angew. Physiologie 23, 159-166 (1966)

(41) KLAUSEN, K., D.B. DILL: Metabolic reactions to work in the desert; J. Appl. Physiologie 22, 292 ff (1967)

(42) KRETSCHMER, E.: Körperbau und Charakter; Springer Berlin 1967, 25. Aufl., 91-114

(43) KÖGLER: Medizin-Meteorologie nach den Wetterphasen; eine ärztliche Wetterkunde, München 1972

(44) KUSHINSKY, G., H. LÜLLMANN: Kurzes Lehrbuch der Pharmakologie; Thieme Stuttgart 1974, 14-25

(45) LEBLANC, J.: L'evidence et la signification de l'acclimation au froid chez l'homme; J. Appl. Physiol. 9, 395-398 (1956)

(46) LICHT, S.: Medical Climatologie; Waverly Press, Incorporated Baltimore, Maryland 1964

(47) v. LIEBIG, G.: Über die Sauerstoffaufnahme in den Lungen bei gewöhnlichem und erhöhtem Luftdruck; Pflügers Arch. ges. Physiol. 10, 479-536 (1875)

(48) LOSSE, H., M. KRETSCHMER, G. KUBAN, K. BÖTTGER: Die vegetative Struktur des Individuums; Acta neuroveg. Wien 13, 337-373 (1956)

(49) MARKWORT, W., J. RIETZ: Physiologische Untersuchungen an Druckluftarbeitern; Zs. für ges. experim. Med. Bd. 106, 684 ff (1939)

(50) MELLEROWICZ: Ergometrie; Urban & Schwarzenberg München 1975, 153-252

(51) MENGER, W.: Wissenschaftliche Arbeitstagung der deutschen Gesellschaft für Balneologie, Bioklimatologie und phys. Therapie; 8. - 11.9.1959 in Westerland

(52) MEYER, E.: Ergebnisse fortlaufender Atemregistrierungen in der pneumatischen Kammer bei Über- und Unterdruck; Med. Diss. München 1967

(53) MOSSO, A.: Der Mensch in den Hochalpen; Leipzig 1899

(54) MÜLLER, B.: Atmung und respiratorischer Gasstoffwechsel gesunder Versuchspersonen unter Einwirkung erhöhten Sauerstoffpartialdrucks b. Atmosphärendruck; Med. Diss. München 1967

(55) NOPPER, H.: Pulswellengeschwindigkeit und Sauerstoffverbrauch in ihrer Eignung für meteorologische Untersuchungen; Med. Diss. München 1954

(56) OPPENHEIMER, K.: Handbuch der Biochemie des Menschen und der Tiere; Bd. 6, 2. Aufl.: Gasstoffwechsel, Ernährung, Gesamtstoffwechsel, Jena 1926

(57) PAINVIN, A.P.: Influence des saisons sur le métabolisme basal; Thèse vétérinaire 1929, Le Francois édit

(58) PEMBERTON, R.: Le rheumatisme chronique: formes, nature, traitment; Übersetzung v. A. Francon Bd. I G. Doin Paris 1933, 408 ff

(59) PFLEIDERER, H.: in Vogt, H.: Lehrbuch der Bäder- und Klimaheilkunde, Springer Berlin 1940

(60) PIRLET, K.: Konstitutionelle Besonderheiten des Wärmehaushalts und ihre Bedeutung für die Klima-Thalasso-Therapie; Z. f. physikal. Medizin 1, 164-90 (1970)

(61) RADDAZ, G.: Der Einfluß bodennaher Wetterelemente auf das menschliche Befinden; Med. Diss. München 1974

(62) Real-Lexikon der Medizin; Urban & Schwarzenberg 1974 Bd. 4, Kap. 139

(63) REICHEL, H., A. BLEICHERT: Leitfaden der Physiologie d. Menschen; Ferd. Enke Verlag Stuttgart 1967

(64) REINDERS, H.: Mensch und Klima; VDI Düsseldorf 1969, 72 ff

(65) REIN-SCHNEIDER: Physiologie des Menschen; Springer Berlin 1971, 175 ff

(66) RICHNER, H.: Zusammenhänge zwischen raschen atmosphärischen Druckschwankungen, Wetterlage und subjektives Befinden; Laboratorium für Atmosphärenphysik EtH Zürich 1974

(67) ROEPER, H.: Untersuchungen über den respiratorischen Gasstoffwechsel unter Einfluß des Seebades; Zschr. exper. Med. 106, 139-153 (1939)

(68) ROSEMANN, H.U.: aus Landois-Rosemann: Lehrbuch der Physiologie des Menschen einschließlich der Phys. Chemie I; Urban & Schwarzenberg 1960, 28. Aufl. 187-233; 272-290

(69) ROSSIER, Ph., A. BÖHLMANN: Physiologie und Pathophysiologie der Atmung; Springer Berlin 1958, 71-84

(70) RUBNER: Die Wirkung kurzdauernder Douchen und Bäder auf den respiratorischen Gasstoffwechsel des Menschen; Arch. f. Hyg. 46, 390-412 (1903)

(71) DE RUDDER, B.: Grundriß der Meteorobiologie des Menschen; Springer Berlin, 3. Aufl. 1952

(72) DE RUDDER, B., LINKE: Probleme der Bioklimatologie; Akadem. Verlagsges. Leipzig 1943

(73) SCHARF, J.H., D. MARZOTKO, SCHMIDT: Neue Befunde über die Abhängigkeit des O_2 Sauerstoffwechsels bei weißen Ratten von Temperatur, Luftfeuchte und Luftdruck, sowie vom Serum-Jod-Quotienten; Endokrinologie 48, 201-220 (1965)

(74) SCHARF, J.H., et al.: Die kurzzeitige Komponente der Gasstoffwechselregelung als Funktion der kurzzeitigen Oszillationen der Umgebungstemperatur; Endokrinologie 48, 303-314 (1965)

(75) SCHOLANDER, EVANS: zit. nach Opitz, E. u. Bartels, H. in: Handbuch der physiologisch-pathologisch-chemischen Analyse; Springer Berlin 1955

(76) SHVARTZ, E., SAAR, BENOR: Physique and heat tolerance in hot dry and hot humid environments; J. Appl. Physiol. 34, 799-833 (1973)

(77) SIEGENTHALER, W.: Klinische Pathophysiologie; Thieme Stuttgart 1970, 1112 ff

(78) STRASSBURGER, H.: Der Einfluß des Föhns auf den Wasserhaushalt; Münch. med. Wschr. 625 (1942)

(79) STRAUBE, G., K.H. SCHOLZ: Über die Einwirkung komplexer Wettervorgänge auf das vegetative Nervensystem; Dtsch. med. Wschr. 76, 634 (1951)

(80) THAUER, K., K. WEZLER: Der Stoffwechsel im Dienste der Wärmeregulation; Zschr. exper. Med. 112, 95-126 (1943)

(81) THAUER, K., K. WEZLER: Mechanismus der Wärmeregulation; Erg. Physiol. 41, 607 (1939)

(82) TOPITZ, A.: Der Temperaturfaktor innerhalb des Wettergeschehens; Rep. 5th Conf. Soc. Rhyth. Stockholm 1955

(83) TROMP, S.W.: Medical Biometeorologie; Elsevier Publish. Comp. Amsterdam-New York 1963, 290-301

(84) TROMP, S.W.: Biometeorology 2; Pergamon Press Oxford, New York, Braunschweig 1967

(85) UNGEHEUER, H., H. KÜGLER: Meteorologie-Biologie-Medizin; Arzneimittelforschung 7, 370-380 (1957)

(86) WARD, P.: Alveolar air on Monte Rosa; J. Physiol. 37, 378 (1908)

(87) WEINMANN et al.: Reactions of men and women to repeated exposure to humid heat; J. Appl. Physiol. 22 (3), 533-538 (1967)

(88) WYNDHAM et al.: Relation between V O_2 max and body temperature in hot, humid air conditions; J. Appl. Physiol. 29 (I) 45-50 (1970)

(89) ZUNTZ, H., A. LOEWY: Physiologie des Menschen; Vogel Leipzig 1913, 656 ff

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. H. Drexel, Vorstand des Institutes für Medizinische Balneologie und Klimatologie der Universität München und Herrn Dipl.-Phys. K. Dirnagl für die Überlassung des Themas, sowie die Anleitung und stete Hilfsbereitschaft bei der Fertigstellung dieser Arbeit.

Ebenso bin ich Herrn Dr. rer. physiol. Dipl.-Phys. J. Kleinschmidt, der durch seine zahlreichen praktischen Ratschläge und durch seine fachliche Hilfe wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beitrug, zu Dank verpflichtet.

Nicht vergessen möchte ich auch die übrigen Mitarbeiter des Instituts, die durch ihre freundliche und stets hilfsbereite Art den reibungslosen Ablauf der Versuchsdurchführung ermöglichten.

Lebenslauf

Am 12.2.1948 kam ich in München als Sohn des Dipl.-Kfm. Wolfgang Rube und seiner Ehefrau Chlothilde, geb. Eixenberger, zur Welt.

Nach 4 Klassen Volksschule kam ich 1958 in die Luitpold-Oberrealschule, wo ich 1968 das Abitur ablegte. Im Sommersemester 1969 bekam ich einen Studienplatz im Fach Humanmedizin an der Universität München, wo ich 1972 auch die ärztliche Vorprüfung ablegte. Mit dem Beginn der Klinischen Semester wechselte ich zum Klinikum Rechts der Isar an die Technische Universität München, wo ich im Dezember 1975 das Staatsexamen bestanden habe.

Von Januar 1976 bis Juni 1977 leistete ich die Medizinalassistentenzeit am Klinikum Großhadern in München, und am Städtischen Krankenhaus Landshut ab.

Seit Januar 1978 bin ich als Assistenzarzt in der Inneren Abteilung des Städtischen Krankenhauses Landshut tätig.